

군사과학연구

Journal of Military Science and Technology Studies

ISSN 1975-3888
제14권 제2호 2021년 12월



연구논문

선형 및 정수계획법을 이용한 불균형한 자원배분에서의
트레이드 최적화 모형 연구

강동길 · 성낙영 · 조윤환 · 최은진 · 조남석

미래도전국방기술개발사업 발전방향에 관한 소고
- 제품개발프로세스 적용을 중심으로 -

장신동 · 마정목

목표 피해를 달성을 위한 포탄 정확도 산출방안

박민성 · 김경수

음성인식 기반의 상용서비스에 대한 사이버 위협 분석

홍천호 · 조영호



국방대학교
국가안전보장문제연구소

군사과학연구

Journal of Military Science and Technology Studies

ISSN 1975-3888
제14권 제2호 2021년 12월



연구논문

선형 및 정수계획법을 이용한 불균형한 자원배분에서의
트레이드 최적화 모형 연구

강동길 · 성낙영 · 조윤환 · 최은진 · 조남석 1

미래도전국방기술개발사업 발전방향에 관한 소고
- 제품개발프로세스 적용을 중심으로 -

장신동 · 마정목 11

목표 피해율 달성을 위한 포탄 정확도 산출방안

박민성 · 김경수 23

음성인식 기반의 상용서비스에 대한 사이버 위협 분석

홍천호 · 조영호 33



국방대학교
국가안전보장문제연구소



Research Papers

- A Study on Trade Models Under Imbalanced Resources Using Linear and Integer Programming
/ **Donggil Kang · Nayeong Sung · Yunhwan Cho · Eunjin Choi · Namsuk Cho** 1
- A Study on the Development Direction of Future Challenge Defense Technology R&D Project
- Focusing on the Application of the Product Design and Development Process -
/ **Sindong Jang · Jungmok Ma** 11
- Way to Calculate the Accuracy of Artillery Fire to Achieve the Required Damage Rate
/ **Minsung Park, Kyungsoo Kim** 23
- Cyber Threat Analysis for Voice Recognition-based Commercial Services
/ **Cheonho Hong · Youngho Cho** 33



선형 및 정수계획법을 이용한 불균형한 자원배분에서의 트레이드 최적화 모형 연구

A Study on Trade Models Under Imbalanced Resources Using Linear and Integer programming

강동길¹⁾ · 성낙영²⁾ · 조윤환³⁾ · 최은진⁴⁾ · 조남석⁵⁾

Donggil Kang · Nakyeong Sung · Yunhwan Cho · Eunjin Choi · Namsuk Cho

ABSTRACT

Creating the maximum effect at minimum cost is the basic principle of the economy, starting from the law of scarcity. In other words, it is an economic principle aimed at achieving the maximum effect at minimal cost or sacrifice as an economic act to obtain maximum satisfaction by using limited resources reasonably. In order to use limited resources reasonably, a 'trade' process for resources between countries, companies, organizations, or individuals holding resources must be accompanied. This study presents an optimized trade methodology that can create maximum value in a specific situation where resources are disproportionately distributed among the various situations in which trade can occur as above.

Key Words : Trade Model, Optimization, Linear programming, Integer programming, GAMS

논문접수일 : 2021년 11월 8일, 심사일 : 2021년 11월 30일, 게재확정일 : 2021년 12월 20일

1)국방대학교 군사운영분석 석사과정

2)국방대학교 군사운영분석 석사과정

3)국방대학교 군사운영분석 석사과정

4)국방대학교 군사운영분석 석사과정

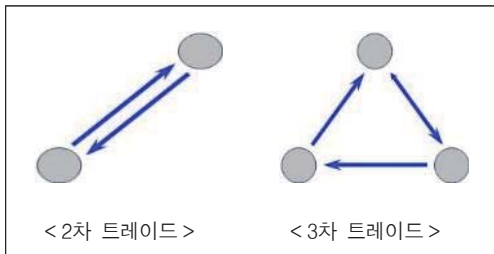
5)국방대학교 군사운영분석 부교수 / 교신저자(Corresponding author) : ncho64@gmail.com

1. 서론

최소비용으로 최대효과를 창출하는 것은 희소성의 법칙에서 출발한 경제의 기본원칙이다. 즉, 한정된 자원을 합리적으로 이용하여 최대의 만족을 얻기 위한 경제 행위로서, 최소의 비용이나 희생으로 최대의 효과를 거두는 것을 목표로 한다. 한정된 자원을 합리적으로 이용하기 위해서는 자원을 보유하고 있는 국가, 기업, 단체 또는 개인 간 자원에 대한 ‘트레이드’ 과정이 반드시 수반된다. 이러한 경제원칙은 크게는 국가의 운영에서부터, 작게는 각 개인의 경제활동까지 우리의 생활영역 전반에 영향을 미치고 있다.

우리 일상생활 중 트레이드 과정이 적용된 대표적인 사례로 프로 스포츠팀 간 선수 트레이드 상황을 꼽을 수 있다. 양측 구단 간 이해타산이 맞는 경우, 일대일 또는 다수 대 다수 간 선수 트레이드를 하는 경우가 있고, 여러 구단 간 연쇄적으로 다중 트레이드를 하는 경우도 종종 발생한다.

<표 1> 트레이드 방법의 예



본 연구는 위와 같이 트레이드가 발생할 수 있는 여러 가지 상황 중, 자원이 불균형하게 분배된 특정 상황에서 최대의 가치를 창출할 수 있는 최적화된 트레이드 방법론을 제시한다. 여기서 말하는 특정 상황은 다음과 같다.

- 1) 각기 다른 m 가지 종류의 재료가 1개씩 조합되었을 때 특정 제품 1개가 완성된다.

- 2) n 명의 구성원들로 이루어진 집단에서 각 구성원들에게 각 재료들이 불균형하게 분배되어 있다.
- 3) n 명에게 분배된 각 재료별 총 합은 n 개 이상이다.

이런 상황에서 일반적인 자원분배, 트레이드 모형의 경우 모든 재료를 한곳으로 모아 다시 균등하게 분배하는 방법을 사용한다. 즉 자원의 이동은 고려하지 않는다. 예를 들어 A, B, C 세 사람이 각각 2개, 10개, 3개의 자원이 있다고 가정하자. 일반적인 트레이드 자원분배 모형은 모든 재료를 모아 다시 5개씩 분배하는 답을 줄 것이다. 본 연구에서 제시하는 모형은 B가 A에게 3개, C에게 2개를 나눠줌으로써 모두 5개가 되는 방법을 제시한다. 즉, 본 연구에서는 최소한의 노력으로 자원분배의 불균형을 해소하는 방안을 제시한다. 이를 위해 제 2장에서는 기존 연구를 소개하고, 제 3장에서는 연구진의 트레이드 모형을 소개한다. 제 4장에서는 모형의 유효성을 검증하기 위한 실험 결과값을 제시하며, 마지막 제 5장에서는 연구를 요약하고, 연구의 한계점과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

트레이드 문제와 관련하여 최근 국내연구 동향을 살펴본 결과, 사회, 경제, 과학기술 분야 등 여러 분야에서 연구실적을 확인할 수 있다. 다만, 순수하게 트레이드 방법론만을 연구하기 보다는, 자원할당, 1:1 매칭 문제 등 다양한 문제들의 최적해를 구하는 과정에서 하나의 방법론으로 사용되고 있다.

이상운 등의 다수 지역에 대한 자원의 수요-공급 운송문제에 대한 연구에서는 수요량 부족 지역의 문제를 해결하기 위해, 부족량이 발생

한 지역에 대해 공급 여유량을 추가 배정하여 초기해를 구하고, 만약 요구량 미충족 지역이 발생하면, 공급 여유량을 가진 지역으로부터 배정량을 조정하는 배정-교환 알고리즘(ASA : Assignment-Swap Algorithm)을 통해 교환 최적화를 달성하였다. [1]

이상운 등의 남녀 결혼문제에 대한 최적화 연구에서는 n 쌍의 남녀를 1:1 매칭시킨 뒤, 각 남녀의 선호도가 반영되어 1:1 상호교환을 시켜주는 과정을 통해 최적화된 결과를 얻어냈다. [2]

이태호 등의 연구에서는 사물인터넷(IoT) 데이터 전송과정에 있어 현재 자원이 할당돼있는 게이트웨이에서 이웃 게이트웨이로 교차 트레이드를 통해, 소모되는 자원 간 편차를 줄임으로써 전체 게이트웨이의 소모되는 자원량을 평준화하고, 효율성을 증대시키는 결과를 얻었다. [3]

본 연구에서는 할당된 자원들의 최적 조합을 위해 수리모형을 가정하고 수리식의 관계에 의해 도출되는 해를 최적해로 가정한다. 이러한 측면에서 본 연구와 유사한 연구는 이상운 등의 [4] “화물열차 적재량 균형문제의 중량 내림차순 화물 적재와 교환 알고리즘”이다. 위 연구에서는 다수의 화물열차 간 적재중량을 균등하게 맞추기 위해 균등배정 최적화 과정에서 교환 알고리즘을 적용하였다. 특히, NP-Complete 문제인 빈 상자 채우기 문제(BPP : Bin Packing Problem)의 일종인 화물열차의 적재중량 균형문제를 LP(Linear Programming)로 풀이하여 다항시간(Polynomial-time)내에 최적해를 구하였다.

다만, 이상운 등의 연구는 문제 해결 시 양자 간 트레이드만 고려하였다. 즉, 3차 이상 다중 트레이드는 고려하지 않았다. 또한, 휴리스틱 접근법을 이용하여 최적해에 근사한 값을 해로 얻었다.

위에서 살펴본 기존 연구사례들과 달리, 본

연구는 다음과 같은 차별점을 갖는다.

- 1) 문제 해결을 위해 근사값이 아닌 정확한 값을 제공하는 결정적(Deterministic) 최적화 모형을 제시한다.
- 2) 불균등하게 할당된 자원을 균등하게 재분배 할 때 자료의 이동 소요를 최소화하는 방법을 제시한다.
- 3) 다양한 모형(formulation)을 제시하고 각 모형을 비교분석한다.

3. 트레이드 모형

3장에서는 트레이드 모형을 수학적으로 구현하기 위한 가정사항과 핵심 아이디어를 설명하고, 3개의 트레이드 모형(T-opt #1, #2, #3)을 설명한다. 트레이드 모형의 설명에 앞서, 트레이드 방안을 제시하는 유일한 방법론이 최적화 방법만 있는 것은 아니다. 트레이드의 참가자를 한번씩 검색하여 필요한 물건과 남는 물건을 별도로 구분한 후 또 한번의 검색을 거쳐 트레이드 안을 도출할 수 있다. 이 방법은 만약 n 명의 참가자가 있다면 $O(n^2)$ 의 복잡도를 가지는 알고리즘으로 구현 가능하다. 다만, 이 방법은 가능한 하나의 해를 제시할 수 있지만, 트레이드를 최소화 하는 최적화된 해를 제시하지는 못한다. 따라서, 본 연구에서는 수리모형 기반의 방법론을 그 대상으로 한다.

3.1 문제정의

본 논문에서 제시하는 모형의 목적은 다양한 재료를 가진 구성원들이 균등하게 재료를 갖고 모두가 물품을 하나씩 만들 수 있도록 트레이드를 하는 것이다. 이를 위한 가정사항은 다음과 같다.

- 1) 재료의 종류는 총 5개로 하며, 각 재료별

총합은 구성원의 수보다 많거나 같다.

- 2) 최종적으로 구성원 개개인은 각 재료를 1개 이상 소유하여 1개 이상의 물품을 만들어야 한다.
- 3) 구성원끼리 상호교환은 필수적이지 않으며, 재료가 부족한 구성원에게 주는 것이 가능하다.
- 4) 트레이드 모형의 핵심 아이디어는 다음과 같다.

- ① 트레이드 되는 재료의 양을 최소화
 각 구성원끼리 재료의 교환이 최소화 되면 단 시간 이내에 균등하게 재료를 갖게 되며 물품을 만들 수 있게 된다.
- ② 재료의 균등분배
 각각의 재료들을 균등하게 갖고 있어야 완성품을 만들 수 있다고 가정하여 최초 불균등하게 분배된 재료들을 트레이드를 통해 균등하게 분배될 수 있도록 한다.

3.2 수학적 구현

3.2.1 T-opt #1

트레이드 모형을 구성하기 위해 집합, 파라미터, 결정변수를 정의하고, 위에서 언급한 아이디어와 가정사항을 수식으로 표현한 뒤 목적 함수를 정의한다. 먼저 최적화 모형 구성에 필요한 집합을 정의한다.

- $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$: 구성원의 집합
- $M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$: 재료의 집합

다음으로 파라미터를 아래와 같이 정의한다.

- D_{ij} = 구성원 i 가 보유한 재료 j 의 개수
 $\forall i \in N, \forall j \in M$

<표 2> 파라미터 예시 (D_{ij})

	M	1	2	3	4	5
N						
1		2	0	0	0	2
2		0	0	0	0	0
3		0	0	1	1	0
		□		□		
n		2	0	1	2	1

이때 D_{ij} 는 <표2>의 예시와 같이 주어진 전체 구성원과 재료의 데이터를 표현한 값이다. 예를 들어, 2번째 사람은 어떤 재료도 가지고 있지 않고, 3번째 사람은 3, 4번째 재료를 하나씩 가지고 있다. 모형을 통해 갖고자 하는 결정변수는 다음과 같다.

$$x_{ij'} = \begin{cases} k & \text{구성원 } i \text{가 } i' \text{에게 재료 } j \text{를 준 경우} \\ -k & \text{구성원 } i \text{가 } i' \text{에게 재료 } j \text{를 받은 경우} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$x_{ij'}^+$: 양의 값을 갖는 결정변수 $x_{ij'}$ 의 대체변수

$x_{ij'}^-$: 음의 값을 갖는 결정변수 $x_{ij'}$ 의 대체변수

위 정의를 바탕으로, Totally Unimodular Property[5]를 적용하여 LP(Linear Programming)로 표현된 T-opt #1 모형은 다음과 같다.

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} \sum_{i' \in N \setminus \{i\}} (x_{ij'}^+ + x_{ij'}^-) / 2 \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i' \in N \setminus \{i\}} x_{ij'} \leq D_{ij} - 1 \quad \forall i \in N, \forall j \in M \quad (2)$$

$$x_{ij'} + x_{i'j} = 0 \quad \forall i, i' \in N, \forall j \in M \quad (3)$$

$$x_{ij'} = x_{ij'}^+ - x_{ij'}^- \quad \forall i, i' \in N, \forall j \in M \quad (4)$$

$$x_{ij'}^+, x_{ij'}^- \geq 0 \quad \forall i, i' \in N, \forall j \in M \quad (5)$$

식 (1)은 목적함수이다. 본 연구의 목적은 트

레이드되는 재료의 양의 최소화이다. 결정변수의 절대값을 모두 더하면 주고받는 경우가 중복되므로 1/2을 곱하여 거래되는 양을 산출하였다. 식 (2)를 통해 구성된 개개인은 각 재료를 1개 이상 갖도록 하였다. 식 (3)은 주는 경우 양의 값을, 받는 경우 음의 값을 갖게 하여 트레이드가 성립되게 하는 제약식이며 식 (4)는 결정변수의 부호와 관계없이 양의 값을 갖게 하여 목적식의 값을 구할 수 있도록 하였다.

3.2.2 T-opt #2

T-opt #2을 구성하기 위한 집합 및 파라미터는 T-opt #1과 같으며 추가로 정의한 변수는 아래와 같다.

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{구성원 } i \text{와 } j \text{가 재료 } k \text{를 주고받을경우} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} x_{ijk} & (D_{ik} \leq D_{jk}) \\ -x_{ijk} & (D_{ik} \geq D_{jk}) \end{cases}$$

예를 들어 $D_{11}=2, D_{21}=0$ 이라고 가정할 때 y_{121} 의 값은 x_{121} 의 값을 갖고 y_{211} 은 $-x_{211}$ 의 값을 갖게 된다. 이때 y_{ijk} 값이 양수이면 구성원 i 가 구성원 j 로부터 재료 k 를 받고, 음수일 때 구성원 i 가 구성원 j 에게 k 를 주는 것을 의미한다.

이를 이용한 수리모형은 아래와 같다.

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \sum_{k \in M} x_{ijk} / 2 \quad (1)$$

s.t.

$$x_{ijk} - x_{jik} = 0 \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} y_{ijk} \geq 1 - D_{ik} \quad \forall i \in N, \forall k \in M \quad (3)$$

$$y_{ijk} = x_{ijk} (D_{jk} - D_{ik}) / \sqrt{(D_{jk} - D_{ik})^2} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M \quad (4)$$

$$x_{ijk}, y_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M \quad (5)$$

식 (1)은 목적함수로 T-opt #1과 같이 트레이드

되는 재료의 양을 최소화 해주며 중복되는 값을 제거하기 위해 1/2를 곱하여 거래되는 양을 산출하였다.

식 (2)는 거래가 필요한 구성원들을 매칭하는 제약식이다. 앞의 예를 다시 살펴보면 y_{121} 은 x_{121} 의 값을 갖고 y_{211} 은 $-x_{211}$ 값을 갖는다. 이때 x_{121} 과 x_{211} 은 (2)식으로 인하여 같은 값을 갖는다. 즉 구성원 1이 구성원 2를 제외한 다른 구성원으로부터 재료를 받아 x_{121} 값이 0일 경우 x_{211} 도 0의 값을 가지면서 구성원 2는 다른 사람에게 재료를 나눠주게 된다.

식 (3)은 (2)를 통해 매칭된 사람들간의 교환을 모두 더해 구성원 i 가 갖는 재료가 1개 이상이 되도록 설정했다. 식 (4)는 앞서 정의한 y_{ijk} 를 수학적식으로 나타낸 것이다.

3.2.3 T-opt #3

T-opt #3을 구성하기 위한 집합은 T-opt #1과 같으며 추가적으로 정의한 파라미터 및 변수는 아래와 같다.

<파라미터>

a_i = 구성원 i 가 갖고있는 재료 a 의 개수

□

e_i = 구성원 i 가 갖고있는 재료 e 의 개수

<변수>

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{구성원 } i \text{가 } j \text{에게 재료 } k \text{를 준 경우} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

g_i = 구성원 i 가 만드는 구성품의 개수 $g_i \in \square$

위 정의를 바탕으로 표현된 T-opt #3은 다음과 같다.

$$Min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} \sum_{k \in M} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$s.t. \quad a_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^a + \sum_{j \in N} x_{ji}^a = g_i \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$b_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^b + \sum_{j \in N} x_{ji}^b = g_i \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$c_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^c + \sum_{j \in N} x_{ji}^c = g_i \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$d_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^d + \sum_{j \in N} x_{ji}^d = g_i \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$e_i - \sum_{j \in N} x_{ij}^e + \sum_{j \in N} x_{ji}^e = g_i \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

식 (1)은 목적함수로 트레이드되는 재료가 최소화되도록 했으며, 기존의 T-opt #1, #2와는 다르게 재료를 줄 경우에만 결정변수가 값을 갖기 때문에 중복되는 값이 없어 1/2을 곱하지 않았다. 식 (2)~(6)은 각 재료에 대한 총량을 통제하는 제약식이다. 모든 구성원은 자신한테 할당된 g_i 개수를 맞추기 위해 재료를 교환하고 g_i 는 목적식에 의해 교환이 최소화되도록 값이 설정된다. 최종적으로 가장 작은 횟수의 재료교환을 통해 가장 많은 양의 완제품을 만들 수 있다.

4. 사례연구

4장에서는 3장에서 설계된 트레이드 모형의 성능을 비교하기 위해 실험을 진행하고 그 결과를 제시한다.

모델 1, 2, 3의 성능은 문제의 가정사항을 만족하는 실험 instance를 대상으로 구성요소의 트레이드 횟수를 의미하는 목적식 값과 최적해를 도출하는데 소요되는 CPU time으로 비교하였다.

4.1 실험계획

실험의 instance는 각 재료별로 전체 구성원이 가진 재료 수량의 합이 n 이 되도록 랜덤하게 생성하였다. instance의 크기는 구성원의 수($=n$)를 50, 100, 300, 500, 1000으로 설정하여 비교실험 하였다.

<표 3>은 임의로 생성된 instance의 예시($n=50$)이다.

<표 3> instance 예시($n=50$)

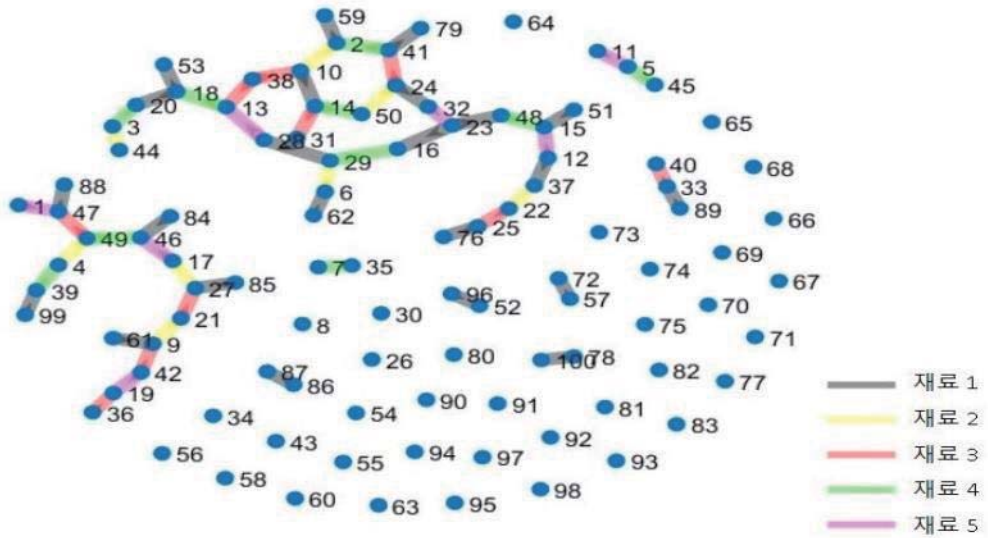
N \ M	1	2	3	4	5
1	1	2	0	0	0
2	0	1	3	0	3
	□		□		
50	2	0	1	2	1
합계	50	50	50	50	50

4.2 실험 결과

모델의 실험을 위하여 GAMS IDE를 이용하였으며 실험에 사용한 PC는 2.8GHz, 8GB RAM이다. Solver는 IBM CPLEX[6]를 사용하였다.

<그림 1>은 $n=100$ 인 실험 instance를 대상으로 T-opt #3을 실행한 결과다. 트레이드 횟수를 최소화 하기 때문에 이미 필요한 재료를 가지고 있는 구성원들은 트레이드하지 않고 일부 재료가 많거나 적은 구성원들만 트레이드하는 모습을 볼 수 있다.

구성원의 수준별로 각 모델을 실행한 실험 결과는 <표 4>와 같다.



<그림 1> 트레이드 최적해의 예시 (100명의 구성원, 5개의 재료)

<표 4> T-opt 모델 실험결과

구분	size (=n)	# of trade(회)			CPU time(s)		
		#1	#2	#3	#1	#2	#3
1	50	130	130	44	0.578	0.89	0.42
2	100	280	280	103	1.36	1.625	0.63
3	300	884	884	314	12.5	24.6	8.95
4	500	1460	1460	522	44.9	166.1	53.9
5	1000	2966	2966	1028	383.8	1319.5	637.3

선형계획법으로 모형화한 T-opt #1과 이진 변수를 활용한 정수계획법으로 모형화한 T-opt #2의 트레이드 횟수는 동일하고, T-opt #3의 트레이드 횟수는 T-opt #1, #2의 트레이드 횟수보다 적다. 이는 T-opt #1, #2는 구성원 간 트레이드를 통하여 모든 구성원이 재료의 조합 1set를 가지도록 모형화한 반면, T-opt #3는 한 구성원이 재료의 조합을 2set 이상 가

지거나 하나의 재료도 가지지 않는 경우를 허용하여 모형화한 점에서 기인하는 차이다.

CPU time은 선형계획법으로 모형화한 T-opt #1이 가장 짧고, 다음으로 T-opt #3, #2 순이다. T-opt #2, #3은 동일하게 정수계획법으로 모형화 했지만, T-opt #3은 더 적은 수의 트레이드로 n개의 재료 조합을 완성할 수 있으므로 T-opt #2보다 짧은 CPU time을 가진다. 실험 instance의 size가 증가할수록 모델 간 CPU time의 차이도 증가하였다. 다만, TU-성질을 활용하여 선형모형으로 구성한 T-opt #1의 경우 instance의 크기가 커지더라도 계산 시간이 지수적으로 증가하지 않는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

제 3 장과 4장에서 사용된 구성원과 재료들은 수요처와 구성요소로 일반화 할 수 있다. 본 연구는 수요처와 구성요소의 세부 데이터를 보유한 상황에서 각 구성요소의 조정이 가능한 경우, 트레이드 횡수를 최소화하며 각 수요처들의 구성요소 불균형을 해소하고 구성요소들을 조합하여 완성할 수 있는 완성품의 수량을 최대로 하는 트레이드 모형을 제시하였다.

이 모형을 활용한다면 다양한 조직에서 일어날 수 있는 하위 조직의 불균형을 상위 조직에서 조정할 때 필수적인 요소를 충족하면서 필요한 트레이드 횡수를 최소화하는 최적해를 구할 수 있다. 이를 통하여 구성원 간 트레이드로 인하여 부가되는 소요를 최소화 할 수 있다.

군에서도 전시 작전지속지원만으로 부대의 기능을 회복할 수 없을 때, 전투력 복원을 위한 작전을 시행한다. 이때, 복원 대상이 되는 부대의 지휘통제체계가 유지되어야, 질서 있고 효과적인 전투력 복원을 할 수 있다. 이 경우, 본 연구의 트레이드 모형을 통해 수요처 간 이동을 명시적으로 알 수 있고, 구성요소의 이동 횡수를 최소화하여 효과적인 전투력 복원이 가능하다. 또한, T-opt #1, #2와 T-opt #3의 구조가 상이한 것처럼, 다양한 상황을 고려하여 제약식을 추가하거나 다르게 하면 상황별 맞춤형 트레이드 결과를 얻을 수 있다.

이외에도 구성품의 초과분 또는 부족분 발생으로 인하여 사용 가능한 자원의 감소나 비효율이 발생하는 경우 적용 가능한 모형으로 판단한다.

본 연구에서 적용한 트레이드는 일방향으로 구성요소를 이동하였으나, 향후 구성원 사이의 맞교환, 삼각 이상의 교환을 통하여 초과와 부족을 해소할 수 있는 모형에 관한 연구가 필요하다.

Acknowledgment

최적화 모델의 구현과 분석에 도움을 준 국방최적화모델링 '21년 학기 수강생들에게 감사를 전합니다.

참 고 문 헌

- [1] 이태호, 김세준, 이병준, 김정태, 윤희용, 『다중 게이트웨이 환경에서의 분산 트레이드 기반 종단 노드 관리』, 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집 27(1), 2019, pp.151-152.
- [2] 이상운, 『불완전 비용 리스트를 가진 대규모 수송문제의 배정-교환 알고리즘』, 한국컴퓨터정보학회논문지 20(6), 2015, pp.51-58.
- [3] 이상운, 『안정된 결혼문제에 대한 최적화 알고리즘』, IIBC Vol.18.no.4, 2018, pp.149-154.
- [4] 이상운, 『화물열차 적재량 균형문제의 중량 내림차순 화물 적재와 교환 알고리즘』, 한국정보기술학회논문지 12.(12), 2014, pp.171-179.
- [5] Laurence A.Wolsey, 『Integer Programming』, Wiley Interscience, 1998, pp.9-12.
- [6] Cplex, I. I. V12. 1, 『User's Manual for CPLEX』, International Business Machines Corporation, 46(53), 2009, pp.157.

저자 소개



강동길(E-mail: kbik3501@gmail.com)
2014 육군사관학교 토목건축공학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션



최은진(E-mail: cej9204@naver.com)
2015 육군사관학교 화학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 데이터마이닝, 데이터 애널리틱스



성낙영(E-mail: low133@naver.com)
2014 육군사관학교 운영분석학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션



조남석(E-mail: ncho64@gmail.com)
2002 육군사관학교 전산학과 학사
2007 미국 공군대학원 운영분석 석사
2016 미국 위스콘신대학 산업공학 박사
현재 국방대학교 군사운영분석전공 부교수
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션



조은환(E-mail: boxer4090@naver.com)
2014 육군사관학교 운영분석학과 졸업(학사)
현재 국방대학교 군사운영분석전공 석사과정
관심분야 : 최적화, 시뮬레이션

미래도전국방기술개발사업 발전방향에 관한 소고
- 제품개발프로세스 적용을 중심으로 -

A Study on the Development Direction of Future Challenge
Defense Technology R&D Project
- Focusing on the Application of the Product Design and
Development Process -

장신동¹⁾ · 마정목²⁾

Sindong Jang · Jungmok Ma

ABSTRACT

The Future Challenge Defense Technology R&D Project is very important since it can create the foundation for the development of a new concept weapon system that will change the game of the future battlefield. The biggest feature of this project is that it is not based on the requirements of warfighters. While creative and challenging technologies that reflect current technological trends can be developed because they are not bound by specific needs, there are also concerns that the developed technologies are only useful for development agencies rather than reflecting the needs of the military. In order to allay these concerns and strike the balance between new technologies and requirements, research on institutional methods that can serve as a bridge between the military and task-performing organizations is needed without compromising the speed, creativity, and challenge of technology development.

Under this purpose, this paper reviewed the current development system and derived the direction of development by applying the product development process to the Future Challenge Defense Technology R&D Project. The product development process is a systematic approach used by private companies to develop new products that meet customer needs in a technology-driven competitive structure. The suggested development direction can help the working group and researchers to enhance the quality of the Future Challenge Defense Technology R&D Project system.

Key Words : product design and development process, future challenge defense technology, 4th industrial revolution, defense R&D innovation

논문접수일 : 2021년 9월 9일, 심사일 : 2021년 11월 30일, 게재확정일 : 2021년 12월 20일

1)국방대학교 무기체계전공 박사과정

2)국방대학교 무기체계전공 교수 / 교신저자(Corresponding author)

1. 서론

4차 산업혁명 시대가 도래함에 따라 과학기술이 다분야에서 매우 급격하게 발전하고 있으며 서로 융·복합하여 모든 제반 산업 구조에서 한 번도 경험해보지 못한 획기적인 변화가 일어날 것으로 예상된다[1]. 국방 분야도 이러한 변화에 예외가 될 수 없다. 예로부터 과학기술의 발전은 새로운 무기체계의 개발과 이로 인한 전쟁 양상의 변화에 막대한 영향을 미쳐왔기 때문이다. 따라서 군사선진국들은 국방 분야에 접목 가능한 첨단과학기술들을 적시에 식별하고 획득하여 전장을 주도할 수 있는 새로운 무기체계를 만들기 위해 미국 방위고등연구계획국의 DARPA Model 제도 도입, 영국의 기술혁신 통찰 유닛(IRIS : Innovation and Research Insight Unit) 창설 등과 같이 국방 기술혁신 및 연구개발 환경에 대한 전략적 변화를 추진하고 있다[2,3].

우리나라 역시 과학기술의 급격한 발전으로 인한 파급효과가 미래 전장의 판도를 뒤집을 것임을 인지하여 기술변화를 신속하게 반영한 신개념 무기체계 소요를 선도하기 위해 <미래도전국방기술개발사업> 제도를 신설하였다. 또한 새로운 제도를 효율적으로 추진 및 관리하기 위해 「국방기술 연구개발 업무처리지침」을 수차례 개정하여 일련의 업무수행 절차와 기준을 정하는 등 다방면으로 노력을 기울이고 있다[4].

미래도전국방기술개발사업의 가장 큰 특징은 무기체계 소요 및 체계개발에 기반하지 않는다는 것이다. 하지만 이점은 양날의 검으로 작용할 수 있다. 특정 소요에 얽매이지 않아 기술변화를 신속하게 반영한 창의적이고 도전적인 기술을 개발할 수 있을 것이란 기대 이면에는 군의 요구사항보다는 개발기관이 선호하는 기

술 위주의 개발이 이루어질 수 있다는 우려 또한 존재한다. 새로운 기술과 이를 기반으로 만들어질 무기체계를 실제 운용하는 것은 군(軍)이기에 신기술 개발과정에 있어 소요군의 역할이 중요하다. 과제 선정부터 시행 및 평가, 성과분석 및 추적조사에 이르는 사업추진 절차상 소요군이 직접적으로 의견을 제시할 수 있는 규정이나 수단이 현 제도에 반영되어 있지 않기 때문이다. 따라서 기술개발의 속도와 창의성, 도전성을 저해하지 않는 가운데 군과 과제수행기관의 가교 역할을 할 수 있는 제도적 장치에 관한 연구가 필요하다.

그러나 미래도전국방기술개발사업과 관련된 기존의 연구들은 신설된 제도를 소개하고 세부 분야별 기술개발 방향을 제시하는 연구(류태규 외, 2019; 편집부, 2019; 지태영 외 2020)[1,5,6]가 대부분이며 현행 제도를 진단하고 발전방향을 제시하는 연구는 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 기술 주도형 경쟁 구조 속에서 고객의 요구를 충족하는 신제품을 개발하기 위해 민간 기업들이 사용하는 시스템적 접근법인 <제품 개발 프로세스>를 적용하여 현 미래도전국방기술개발사업 제도를 진단하고 발전방향을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 미래도전국방기술개발사업

“미래도전국방기술(未來挑戰國防技術)이란 소요가 결정되지 않거나 소요가 예정되지 않은 무기체계에 대한 적용을 목적으로 하는 혁신적이고 도전적인 국방과학기술”을 말한다[7].

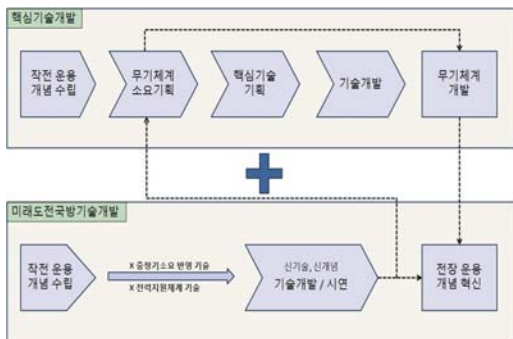
<표 1>과 같이 2017년 7월 국정과제의 일환으로 추진되기 시작한 미래도전국방기술개발사업은 올해 4월 1일부로 국방과학기술혁신 촉진법이 시행되며 제도의 법적 근거를 마련하였고

핵심기술개발과 더불어 국방기술사업의 한 축으로 당당히 자리하게 되었다. 국방기술 연구개발 업무처리지침과 미래도전국방기술개발사업 업무처리규정을 지속 개정·전면개정·제정하며 업무수행 절차 및 그 밖에 필요한 사항들을 정립해나가는 등 지속적으로 제도 발전이 이루어지고 있다.

<표 1> 미래도전국방기술개발사업 추진경과

구분	내용
2017.7	□국정과제 반영 (소요에 기반하지 않은 높은 개발목표의 창의도전적 미래도전기술 개발 제도 신설 및 예산배분)
2018.9	□미래도전국방기술과제경연/시범사업 (13개 과제)
2019.2	□핵심기술 연구개발 업무처리지침에 내용 반영 (제5장 핵심기술 사업관리 제6절 미래도전기술)
2021.2	□미래도전국방기술개발사업 업무처리규정 제정
2021.4	□국방과학기술혁신 촉진법 시행으로 법적 근거 마련
2021.4	□국방기술 연구개발 업무처리지침 전부개정 * 국방기술을 핵심기술과 미래도전국방기술로 이원화

미래도전국방기술개발사업이 기존 국방연구개발 체계 내 다른 사업들과 가장 두드러지게 구별되는 점은 소요에 기반하지 않은 기술개발을 추진한다는 점이다. <그림 1>과 같이 기존 무기체계 소요기획 및 핵심기술기획의 틀에서 벗어난 과제 기획 및 수행으로 기술변화를 신속하게 반영한 새로운 기술의 개발 및 시연의 가능성을 높인다.



<그림 1> 미래도전국방기술개발사업 특징[8]

<표 2>와 같이 PM기획, 과제경연, 기술경진대회 등 사업의 유형을 다변화한 것 또한 기존 국방연구개발사업들과의 차별점이다. 민간의 우수한 기술 및 연구개발 역량을 국방 분야에 접목하고 창의적이고 도전적인 아이디어를 발굴하기 위해 다양한 방식으로 과제에 참여할 수 있도록 제도를 마련한 것이다.

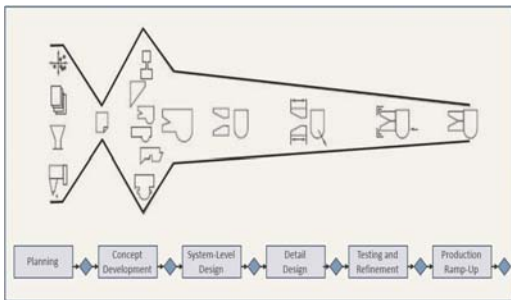
<표 2> 미래도전국방기술개발 사업유형[9]

PM 기획 과제	<input type="checkbox"/> 미래전장 혁신을 이끌 수 있는 신기술·신개념 무기체계 관련 프로그램 * 비교적 큰 규모의 연구로 여러 세부과제로 구성 <input type="checkbox"/> 프로그램 관리자(PM)가 프로그램과 세부과제를 직접 기획하고, 세부과제 연구기관 선정/관리 <input type="checkbox"/> 주관형태: 국과연/산학연 - 국과연: 연구소 내 우수자원으로 PM 구성 - 산학연: 민간 우수 전문가로 PM 구성
과제경연 과제	<input type="checkbox"/> 미래전장 혁신을 이끌 수 있는 신기술·신개념 무기체계 기술의 단일 과제 <input type="checkbox"/> 주관형태: 국과연/산학연 * 국과연 주관의 경우 “자체기획” 용어 사용
기술경진대회 (과제 제시)	<input type="checkbox"/> 국방 R&D 현안에 대한 민간 기술역량 발굴 <input type="checkbox"/> 국과연이 첨단기술 특정분야 주제 계획하고 기술경진대회를 주관 <input type="checkbox"/> 대회 규정에 따라 제시된 주제의 목표를 달성한 팀 선발/ 인센티브, 후속연구비 등 지급

지금까지 미래도전국방기술개발사업 관련 용어 정의와 추진 경과, 기존 국방 R&D 사업과의 차이점에 대해서 간략하게 소개하였다. 미래도전국방기술개발사업의 가장 큰 특징은 소요 및 체계개발에 기반하지 않는 기술개발이라는 점과 사업유형을 다변화하여 민간 참여의 기회를 확대하였다는 점이다. 이로 인해 보다 신속한 기술개발 및 민간의 우수 R&D 역량 참여 유도가 가능하리라 기대된다. 하지만 다른 관점에서 바라보면 소요에 기반하지 않기에 군의 의사결정에 직접 관여하지 않으며, 사업유형을 다변화하여도 군의 직접 참여(과제 제안)는 제한되어 군의 의견을 잘 반영한 기술개발이 되기 어렵다는 지적 또한 존재한다.

2.2 제품 개발 프로세스

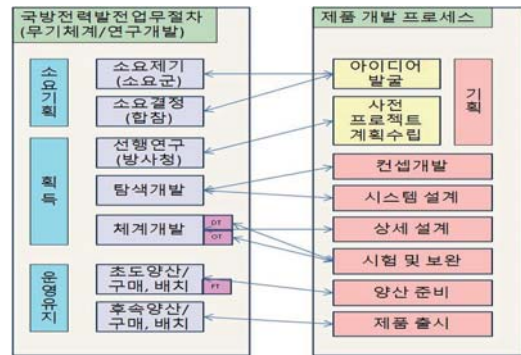
제품 개발 프로세스(product development process)는 기업이 새로운 제품을 계획하고 설계하여 출시하기까지 수행하는 일련의 단계 및 업무를 말한다[10]. 시스템적으로 잘 구조화된 개발 프로세스는 하나의 표준화된 매뉴얼로서 모든 조직 구성원에게 동일한 기준과 목표, 방향을 제시해준다. 이로 인해 제품 개발 프로젝트의 정량적인 계획이 가능하며 의사결정 시간을 단축시켜 기업의 생산성 향상과 품질 개선에 기여할 수 있다[11].



<그림 2> The generic product development process[12]

보편적 제품 개발 프로세스는 <그림 2>와 같이 여섯 단계로 구분된다. 첫 단계는 기획(Planning) 단계로 이전의 연구 및 기술 개발 업무와 제품 개발 프로세스를 이어주는 역할을 한다. 기획 업무는 제품 개발 프로젝트가 승인되기 이전에 기업 전략에 근거한 기회를 발굴하는 것으로부터 시작된다[10]. 시장의 기회를 정의하고 현재 기업이 보유한 기술과 신기술을 평가하여 개발 목표를 수립하는 활동들이 기획 업무에 포함된다. 두 번째는 컨셉 개발(Concept Development) 단계이다. 컨셉(concept)이란 고객 요구를 어떻게 만족시킬 것인지 설명하기 위해 제품의 형상, 작동원리, 사용되는 기술 등을 간략하게 기술한 것을 말한다[10]. 이 단계에서는 고객의 요구를 수집 및 분석하고 이를 토대로 가능한 다수의 컨셉들을 생성하며 그중

최선의 컨셉을 선정하는 활동들이 이루어진다. 세 번째 단계는 시스템 설계(System Level Design)이다. 이 단계의 중점은 앞서 결정된 최종 컨셉의 기능적 요소들을 실제 물리적 구성품을 통해 구현하기 위해 제품의 아키텍처를 개발하는 것이다. 네 번째 상세 설계(Detail Design) 단계에서는 앞서 정의된 제품 아키텍처에 기반하여 제품을 구성하는 모든 부품의 형상을 정의하고 재질 및 공차를 설정하는 등 세부 설계를 실시하고 제품의 가공 및 조립을 위한 구체적인 공정계획을 작성한다[10]. 다음은 시험 및 보완(Testing and Refinement) 단계이다. 이 단계의 주요 활동은 프로토타입을 제작하여 성능 및 신뢰성, 내구성 등을 시험하고 평가하여 개선사항을 도출, 양산 전 이를 보완하는 것이다. 마지막은 양산 준비(Production Ramp-Up) 단계이다. 실제 양산시 사용할 생산 시스템을 이용하여 제품을 만들어 보고 그 과정에서 발생하는 문제점을 식별 및 해결하는 것이 이 단계의 주요 목표이다.



<그림 3> 국방전력발전업무절차(무기체계 연구개발)와 제품 개발 프로세스 비교

제품 개발 프로세스를 국방전력발전업무 절차와 비교해보면 정확히 일치시킬 수는 없으나 <그림 3>과 같이 연결할 수 있다. 제품 기획 단계에서는 신제품을 개발하기 위한 아이디어를 발굴하고 이를 평가하여 개발 포트폴리오를 작성한다. 이는 국방전력발전업무절차의 소요를

제기하고 결정하는 소요기획 과정과 목적 및 절차가 유사하다. 또한 포트폴리오 작성 이후 어떻게 개발 프로젝트를 진행할 것인지 개발 가능성, 개발 시기, 시장 경쟁력 분석, 예산 등을 포함한 사전 프로젝트 계획을 수립하는데 이는 선행연구 및 사업추진전략 수립과 연관 지을 수 있다. 같은 맥락으로 컨셉 개발 및 시스템 설계 단계는 프로젝트 계획(선행연구) 수립 이후 그 결과로 도출된 체계 개념에 맞는 아키텍처를 설계한다는 점에서 연구개발의 탐색개발 단계와 유사하다. 실 제품 제작을 위한 세부 구성품 설계로부터 제품의 가공 및 조립까지 이어지는 상세 설계는 연구개발의 체계개발 단계와 목적 및 실시하는 내용이 비슷하며, 시험 및 보완은 개발·운용시험평가, 실제 양산(전력화) 실시 전 생산 시스템과 제품의 운영 테스트를 하는 양산준비 단계는 초도양산 및 야전운용시험과 유사한 목적, 내용을 갖는다.

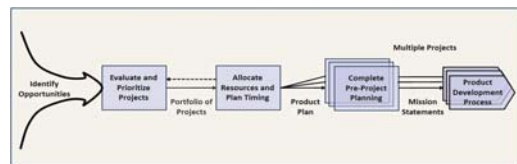
제품 개발 및 판매를 통해 이윤을 추구하는 민간 기업과 무기체계 개발 및 전력화를 통해 자주국방에 기여하는 국방분야의 R&D 제도 및 환경은 분명 똑같지 않다. 그러나 현시대의 흐름은 기업과 국방 모두에 새로운 제품의 개발 및 출시를 강요하고 있다. 세계화로 인한 국내·외 경쟁의 심화, 과학기술의 급격한 발전이 야기하는 기술진부화, 소비자 요구의 신속한 변화 등으로 제품 생명 주기가 점차 짧아지고 있기 때문이다[13][14]. 따라서 혁신적 제품 개발을 위해 무한 경쟁에 돌입하고 있는 기업들의 실무사례를 통해 지속 보완되고 있는 제품 개발 프로세스를 국방 분야에 적용해보는 것은 시도할 만한 가치가 있는 방법이다. 특히 미래 기술 및 전장 예측(↔시장기회 정의)을 바탕으로 군의 요구(↔고객의 요구)를 충족시킬 수 있는 신기술을 개발해야 하는 미래도전국방기술개발사업에 있어 참고할만한 실무적 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

3. 제품 개발 프로세스 관점에서 미래도전국방기술개발사업 분석

앞서 소개한 바와 같이 제품 개발 프로세스는 제품 개발 프로젝트가 승인되기 이전에 개발 목표를 수립하는 제품기획에서부터 시작하여 실제 제품을 생산하기 직전의 양산 준비까지의 모든 과정을 포함한다.

그러나 미래도전국방기술개발사업은 무기체계 소요에 기반하지 않은 기술 개발을 목적으로 한다. 개발한 기술을 바탕으로 새로운 무기체계의 소요를 선도할 수는 있으나 실제 개발로까지 이어지는 사업은 아니다. 따라서 제품 개발 프로세스 관점에서 미래도전국방기술개발사업을 분석할 때 모든 단계를 적용하기보다는 사업 특성에 부합하는 부분에 집중해서 분석하는 것이 중요하다.

제품 개발 프로세스에서 미래도전국방기술개발사업과 가장 유사한 활동을 수행하는 단계는 제품 기획 단계이다. 제품 기획 단계에서는 <그림 4>와 같이 신제품을 개발하기 위한 아이디어를 발굴하고 평가하여 개발 포트폴리오를 결정하며 이를 제품 개발과 연계하기 위한 사전 프로젝트 계획을 수립하는 활동을 한다.



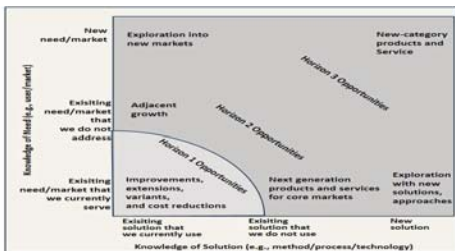
<그림 4> The product planning process[12]

미래도전국방기술개발사업의 목적 또한 기술 변화를 신속하게 반영한 창의적이고 도전적인 기술과제를 발굴하고 개발하여 신개념 무기체계의 소요창출까지 연계하는 것이므로 제품 개발 프로세스의 제품 기획 단계와 맥락을 같이 한다.

제품 기획은 기회 발굴, 프로젝트 평가, 자원 할당 및 수행시기 결정, 사전 프로젝트 계획 수립의 네 단계로 구성되어 있으며 이 순서에 따라 미래도전국방기술개발사업 제도를 분석한다.

3.1 기회 발굴

제품 기획은 신제품을 개발하기 위한 아이디어인 기회를 발굴하는 것에서부터 시작한다. 기회를 분류하는 다양한 기준과 방법이 존재하지만 가장 일반적인 기회의 유형은 <그림 5>와 같이 시장(고객) 및 문제해결방안에 대해 개발팀이 보유한 지식의 수준에 의해 결정되는 불확실성에 따라 세 가지 영역으로 구분할 수 있다. 제1영역은 기업이 사용자의 요구 및 시장 상황에 대해 잘 알고 있으며, 기업이 보유한 기존 개발 프로세스나 지식을 활용할 수 있는 기회의 영역이다.



<그림 5> Type of opportunities [12]

제2영역은 기업이 인지하고 있으나 고려하지 않던 고객 요구 및 시장 영역에서 기업이 기존에 활용하지 않던 방법을 통해 제품을 개발해야 하는 기회에 해당한다. 마지막으로 제3영역은 불확실성이 가장 높아 실패의 위험이 큰 영역으로 전혀 새로운 환경에서 이전에 없던 새로운 방법을 통해 제품을 개발해야 하는 기회이다[10]. 미래도전국방기술개발사업은 미래 전장환경에서 운용될 신개념 무기체계 개발에 필요한 기술을 개발해야 하기 때문에 불확실성이 가장 큰 제3영역의 기회를 발굴하여야 한다.

제품 개발까지 이어질 수 있는 좋은 기회를 발굴하기 위한 단순하지만 유용한 방법은 조직 내·외부의 원천을 모두 고려하여 최대한 많은 수의 기회를 생성하고, 효과적인 기준에 따라 개발할 가치가 있는 기회를 선별하는 것이다.

기회 생성 관점에서 살펴보면 미래도전국방기술개발사업은 유형을 다변화(PM기획, 과제경연, 기술경진대회)하여 민간의 참여를 유도하고, 군의 신개념 무기체계 및 신기술 아이디어 공모 결과를 과제화 검토에 반영하는 등 군과 민간을 모두 포함하여 다수의 기회를 생성하기 위한 시도를 하고 있다고 평가할 수 있다.

생성된 다수의 기회 중 선별과정을 거쳐 채택된 유망한 기회들이 미래도전국방기술 과제 제안으로 이어지게 되는데 이 과정에서 고객의 입장인 소요군이 직접 과제를 제안하는 것은 제한된다. 미래도전국방기술개발사업 특성상 과제 제안자가 직접 과제를 수행해야 하기 때문이다. 군 의견을 반영한 다수의 기회를 제공하더라도 그것이 선별되고 정제되어 과제 제안으로까지 이어지지 않는다면 기회생성 과정에서 군이 참여하는 본질이 희석되게 된다.

이를 해결하기 위해서는 PM과 소요군 간의 연계를 강화하여야 한다. PM은 국과연이나 민간의 우수한 전문가로 구성되며 여러 개의 세부과제로 구성된 비교적 큰 규모의 프로그램을 직접 기획하고 관리할 수 있는 권한을 가지고 있다. 민간 출신 PM이 단기간에 군 제반 환경 및 군의 작전운용 개념에 대한 전문지식을 갖추기 제한되기 때문에 군의 요구사항이 무엇인지 쉽게 이해할 수 있도록 관련 자료를 제공하고 지속적으로 소통할 수 있는 채널을 만드는 것이 중요하다. 미국 DARPA에서도 군과 PM의 연계를 강화하기 위해 PM의 임기 초 군과의 연결고리를 제공해주는 PM 부트캠프 프로그램을 시행 중에 있는데[15] 우리도 위와 같은 제도의 도입을 통해 PM과 군이 지속적으로 소

통할 수 있는 기회의 장을 만들어줄 필요가 있다. 소요군과의 연계 강화를 통해 PM이 소요군이 그리는 미래 비전과 미래진 작전운용개념을 잘 이해한다면 군의 잠재적 기술 요구가 PM이 기획하는 프로그램에 잘 반영될 수 있을 것이다.

3.2 프로젝트 평가

제품 기획의 두 번째 단계는 발굴된 기회를 기반으로 평가 과정을 통해 가장 가능성 있는 프로젝트를 선정하는 것이다. 일반적으로 기업들은 경쟁 전략과 기술 발전 경로, 프로젝트 포트폴리오의 균형 등을 평가의 기준으로 삼는다.

경쟁전략은 기업이 무엇을 주요 기준으로 시장에 경쟁할 것인지에 관한 방향성이다. 경쟁전략의 예로는 기술 우위 전략, 원가 우위 전략, 고객 중심 전략, 모방 전략 등이 있다[10]. 미래도전국방기술개발사업은 새로운 기술의 개발을 목표로 하기에 기술 전개에 초점을 맞추는 기술 우위 전략 관점에서 평가의 기준을 선정해야 한다고 생각하기 쉬우나, 고객의 변하는 요구를 파악하여 고객의 관심에 부합하는 새로운 특성과 기능을 갖춘 제품의 개발로 연계할 수 있는 고객 중심 전략도 함께 고려해야 한다. 미래도전국방기술개발사업 시행 초기에는 <표 3>의 좌측 내용과 같이 과제선정안을 국과연이 국방기술보호국에 제출하면 승인되는 체계였다. 올해 4월 국방기술 연구개발 업무처리지침이 전부개정되며 <표 3>의 우측 내용과 같이 국과연이 국방기술보호국에 과제 선정결과를 보고하면 국방기술보호국은 이를 검토하여 필요시 시정을 요구할 수 있도록 변경되었다. 이는 군의 요구를 고려하지 않은 기술적 부문에만 치중한 과제 선정을 경계하기 위한 제도적 장치로 이해할 수 있다.

<표 3> 과제선정 관련 업무처리지침 변경

핵심기술 연구개발 업무처리지침[16] (방사청 행정규칙 제657호)	국방기술 연구개발 업무처리지침[17] (방사청 행정규칙 제714호)
제8장 미래도전국방기술 개발 제69조(사업 추진절차) □ 국과연소장은 제1항의 연간수행계획에 따라 미래도전국방기술 과제 선정안을 국방기술보호국장에게 제출하고, 국방기술보호국장은 이를 승인한다.	제6장 미래도전국방기술 개발 제56조(사업 추진절차) □ 국과연소장은 사업수행계획에 따라 미래도전국방기술 과제 선정결과를 국방기술보호국장에게 보고하여야 한다. 이 때 국방기술보호국장은 적법성, 적합성 등을 고려하여 시정을 요구할 수 있으며, 국과연소장은 이를 이행하여야 한다.

프로젝트 평가의 기준을 제공하는 또 다른 요소로 포트폴리오의 균형잡기가 있다. 포트폴리오가 어떻게 구성되어야 하는지에 대한 기준은 기업이 어떠한 경쟁 전략을 선택했는지에 따라 달라진다[10]. 미래도전국방기술개발사업도 과제를 선정할 시 포트폴리오의 균형을 잡아줄 명확한 기준을 선정하여야 한다.

<표 4> '20년 미래도전국방기술 과제 현황

구분	과제명	분류
PM 기획 (4)	초소형 SAR 위성 설계 및 제작을 통한 운용능력 확보	①
	메타물질 기반의 다기능 단일 안테나 소형경량화	②
	군집 무인수상정 운용기술 개발	⑤
	드론을 이용한 지면 폭발물 실시간 광역 공중 탐지체계	①
과제 경연 (20)	사이버 위협 지능형 분석 및 예측 기술 연구	⑦
	딥러닝을 활용한 퍼징 성능 향상 기술	⑦
	지능적 악성코드 분석을 통한 위협 인텔리전스 생성 기술	⑦
	소프트웨어 퍼징 결과 평가기술	⑦
	머신러닝 기반의 모의 데이터 생성 기술 연구	⑦
	Fiber-Optic 자기센서와 Fluxgate 자기센서 측정 감도 향상을 위한 자기변형 및 인자성 소재 개발 연구	①
	공중 정찰망 기반 자동 이상 탐지 기술	①
	광대역 전파투과 경량 다이아싱 소재 개발	④
	복합에너지를 이용한 ZS 투명화 기술	④
	화학탐지드론 기반 화학오염원 센싱 자율화 기술	①
	나노 그래핀 기반 보호직물 설계기술	⑥
	블록체인-머신러닝 기반 드론 보호 기술 연구	⑦
	초소형 위성 영상 분석 자동화를 위한 딥러닝 기반 초해상도 물체 식별 기술	①
	황화물계 전고체 기반 무음극 고에너지 밀도 이차전지 시스템	④
	고고도 무인체계용 초경량 고성능 Flexible 태양전지 개발	④
	미래 전장 응용을 위한 고신뢰성 다목적 호버 바이크 개발	⑤
장주기 다목적 무인 잠수모함 핵심기술 개발	⑤	
감시 정찰 수색 임무용 사족보행 로봇시스템 기술개발	①	
Explainable AI 기반 상호작용형 인공위성 이미지 분석	①	
머신러닝기반 레이더용 소형 표적탐지/추적 기술	①	
ADD 자체 기획 (6)	레이더 소형 경량화를 위한 광집적 기반의 송수신 기술	①
	딥러닝 기반 초소형 SAR 위성영상의 특정물체 인식기법	①
	군집객체 인공지능 학습 프레임워크 개발	①
	인공지능 기반 시각적 부분 가림 물체 자동 식별 기술	①
	20W급 W-band 고출력 증폭기 및 송수신기 개발	②
인공지능 공중교전 기술	①	
<국방전략기술 8대 분야> ① 자율-인공지능 기반 감시정찰 ② 조연결 지능형 지휘통제 ③ 초고속 고위력 정밀타격 ④ 미래형 추진 및 스텔스 기반 플랫폼 ⑤ 유·무인 복합 전투 수행 ⑥ 첨단기술 기반 개인 전투체계 ⑦ 사이버 능동대응 및 미래형 방호 ⑧ 미래형 첨단 신기술		

<표 4>는 2020년도에 수행 중인 30개 과제가 국방전략기술 8대 분야 중 어디에 해당하는지 분석한 결과이다. 자율 인공지능 기반 감시정찰 분야가 14개, 사이버 능동대응 및 미래형 방호가 6개로 전체 과제의 2/3가 두 분야에 집중되어 있었고 초고속 고위력 정밀타격 분야의 과제는 한 건도 없었다. 군의 요구, 필요성, 예산, 민간연구 수행 여부를 종합적으로 고려한 포트폴리오가 선정될 수 있도록 연구방향 수립과 일치된 기준 마련이 필요하다.

3.3 자원할당 / 수행시기 결정

자원할당 및 수행시기 결정 단계에서는 인적 자원, 예산, 시설 등 개발 자원의 양적 제약을 고려하여 프로젝트별 자원을 할당하고 기반 기술의 성숙도와 경쟁 상황 등을 분석하여 수행시기를 결정한다[10].

미래도전국방기술개발사업은 PM 기획의 세부과제 외에는 과제선정 시점에 이미 개발 자원 및 예산을 고려하게 되고 수행기간 역시 정해져 있으므로 이 단계와 크게 연관되는 부분은 없다. 다만 올해 4월 국방기술 연구개발 업무수행지침이 전면개정되며 제56조(사업 추진 절차) ③항에 “국과연소장은 사업의 성과달성을 확인하기 위해 두 단계로 구분하여 사업을 추진하고, 1단계 종료평가 결과 불합격 과제는 다음 단계로 전환할 수 없다[17].”라는 내용이 추가되었다. 1단계 종료평가의 배점 및 기준은 별도로 제시되지 않았다.

<표 5> 핵심기술 중간평가 배점 및 기준[17]

평가지표		배점
중간 연구개발 목표 달성도 및 성과 (70점)	중간 연구개발 목표의 달성도 (연구개발계획서에 명시한 연구개발 목표의 중간 달성도)	35
	연구개발의 성공 가능성 (최종 연구목표 달성 가능성, 차년도 연구계획의 타당성, 위험요소 식별/대처방안 등)	10
	연구개발의 수준 및 기여도 (향후 연구개발 결과의 활용/체계 연동 가능성, 기술적 파급효과, 국방기술 선진화 수준 및 기술 자립도, 기술이전 가능성, 국산화 및 수입대체 효과 등)	15
	중간 연구개발 추진 성과 (국내외 논문, 특허, 기술자료 등의 수준과 양, 선진국과의 기술협력/교류 건수, 새로운 현상 규명 및 이론 제안 건수, 활용계획/보호대책 등)	10
연구개발 수행의 효율성 (30점)	연구비 집행의 합리성 (요소별 예산 집행의 적절성 및 집행내역 변경의 적법성, 예산절감 실적/노력 여부 등)	10
	효율적인 연구개발 수행 (기술적 접근 방법, 적절한 인적 자원 투입, 기간 단축 노력 여부, 소요군과의 협조 체제 유지 등)	10
	연구개발 관리능력 (업체(기관) 관리 능력, SE 적용 등 체계적인 연구개발 관리 수행 여부, 기술 분류, 기술자료 DB 구축 등)	10
계	-	100

<표 5>는 동 업무처리지침서에 별표로 제공된 핵심기술사업의 중간평가 배점 및 기준이다. 미래도전국방기술개발사업의 경우 기술 변화에 민감한 특성을 고려하여 핵심기술사업의 중간평가 기준을 그대로 반영하는 것보다는 기술성 속도와 해외 및 민간의 경쟁 기술 개발 상황을 반영한 1단계 종료평가의 측정 기준 적용이 필요하다. 또한 불합격 과제 발생 시 예산을 포함한 개발 자원들을 어떻게 활용할 것인지에 대한 계획 수립이 요망된다.

3.4 사전 프로젝트 계획수립

사전 프로젝트 계획수립 단계의 목표는 제품 기획 절차를 진행하며 승인된 프로젝트들이 성공적으로 제품 개발 프로세스의 다음 단계로 전환될 수 있도록 돕는 것이다. 이를 위해 소수

의 핵심 팀을 구성하여 임무명세서를 작성하고 프로젝트에 관한 가정 및 제약조건을 작성하는 활동들을 실시한다.

이를 대입해보면 미래도전국방기술개발사업의 결과로 개발된 기술을 국방전력발전업무 절차로 전환하기 위한 과정이라 볼 수 있다. 개발 기술의 무기체계 소요연계 관련하여 현 규정 및 지침에는 다음과 같이 세 가지가 제시되어 있다. 첫 번째는 추진 중인 과제의 소요연계를 강화하기 위해 신개념 무기체계 소개자료를 발간하는 것이고, 두 번째는 연간수행계획 수립 시 수행 과제의 소요연계 강화 추진계획을 제시하는 것[18], 마지막은 종결과제 성과분석 시 개발된 기술의 성격, 가치(TRL 수준), 연구개발 결과 활용 방안을 포함하는 것이다. 위 세 가지 사항으로는 개발된 기술을 어떻게 무기체계 소요로 연계시켜야 할지 구체적인 모습이 그려지지 않는다.

지침과 규정에 명시된 바는 없으나 국방과학연구소에서는 개발한 기술을 무기체계 소요 및 개발로 신속히 연계시키기 위해 <가교적 연구> 방안을 제시하였다. 가교적 연구는 소요에 기반하지 않고 개발한 혁신적 기술들을 신속히 무기체계 개발로 전환하기 위해 프로토타이핑을 통해 기술적으로 구현 가능한지와 군에서 활용 가능한지를 확인하는 연구로 미래도전국방기술개발사업과 무기체계 소요기획 및 획득 절차 간의 가교적 역할을 하는 기술연구개발이다. 가교적 연구는 세부적으로 가교연구, 재목적화 연구, 과학적 분석기법연구, 시험평가 기법 연구 등 네 가지로 구분된다. 가교연구는 연구 중이거나 완료된 미래도전국방기술이 진부화되거나 사장되는 것을 방지하기 위해 프로토타이핑을 실시하여 개발한 기술이 실제 무기체계에 구현 가능한지와 군에서 활용할 가치가 있는지를 탐색하는 연구이다. 재목적화 연구는 기존 무기체계에 새로 개발한 기술을 적용할 부분은 없는지 탐색하는 연구이다. 과학적 분석

기법 연구와 시험평가 기법 연구는 가교연구와 재목적화 연구 결과물에 대한 효과분석과 시험평가 방법을 연구하는 것이다[19].

가교적 연구는 개발된 기술을 기반으로 한 무기체계의 개발 전환 시 참고자료로 활용되며 개발 기간을 단축시키는데 큰 역할을 할 것이라 기대된다. 다만 지침과 규정에 아직 반영되지 않아 가교적 연구 전환 대상이나 조건, 연구기간 등 세부적인 사항들을 확인할 수 없기에 조속한 반영이 요망된다.

4. 결론

과학기술과 전쟁의 역사는 언제나 맞물려 한 쪽이 다른 한쪽을 이끌면서 발전해 나갔다[20]. 4차 산업혁명 제반 기술의 급격한 발전 또한 신개념 무기체계를 통해 미래 전쟁 양상을 획기적으로 변화시키며 전쟁의 역사의 새로운 페이지를 넘길 것이라는 전망이 우세하다.

미래도전국방기술개발사업은 미래 전장의 판도를 뒤집을 신개념 무기체계 개발의 기반을 조성한다는 점에서 매우 중요하다. 그러나 무기체계 소요 및 체계개발에 기반하지 않는다는 가장 큰 특징은 기술변화를 신속하게 반영한 창의적이고 도전적인 기술을 개발할 수 있을 것이란 기대와 군의 요구사항보다는 개발기관이 선호하는 기술 위주의 개발이 이루어질 수 있다는 우려를 동시에 안겨주고 있다.

따라서 본 연구에서는 기술 주도형 경쟁 구조 속에서 고객의 요구를 충족하는 신제품을 개발하기 위해 민간 기업들이 사용하는 시스템적 접근법인 제품 개발 프로세스를 미래도전국방기술개발사업 관련 지침과 규정에 적용하여 기술개발의 속도와 창의성, 도전성을 저해하지 않는 가운데 군과 과제 수행기관의 가교 역할을 할 수 있는 방향을 다음과 같이 제시하였다.

기회발굴 측면에서 소요군과 PM과의 연계 강화를 통해 민간 출신인 PM이 군의 잠재적 요구사항을 이해할 수 있는 환경을 조성해야 하며, 프로젝트 평가 측면에서 과제 선정 시 포트폴리오의 균형을 잡아줄 명확한 기준을 설정해야 한다. 자원 할당 차원에서 1단계 종료평가 측정 기준 및 불합격 과제에 배정된 예산과 자원의 전환 계획 수립이 필요하며 사전 프로젝트 계획 수립 측면에서 국방과학연구소가 제시한 가교적 연구의 규정 반영이 요망된다.

본 연구에서 제시한 발전방향이 적극 반영되어 미래도전국방기술개발사업 제도가 성공적으로 정착하는데 조금이나마 기여하기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 류태규, 지태영. "4 차 산업혁명 기술과 국방 연구개발 방향." 국방정책연구 35.2 (2019): 7-25.
- [2] 이종용. "4차 산업혁명시대 미래전 양상." 군사혁신논단 18.2(2018): 1-8.
- [3] 강형욱, 장신동. 육군의 기술기획 업무체계 발전방안. 합동군사대학교 연구보고. 합동군사대학교, 2020.
- [4] 방위사업청. 국방기술 연구개발 업무처리지침. 방위사업청 예규 제714호(2021.4.30, 전부개정), 제1조(목적).
- [5] 편집부. "창의적 도전적 국방기술을 위한 한국형 DARPA 사업 본격 착수". 국방과 기술 481(2019): 12-13.
- [6] 지태영, 백승관. "미래도전국방기술사업(항공 우주분야) 소개." *한국항공우주학회 학술발표회 초록집* (2020): 386-387.
- [7] 법제처. 국방과학기술혁신 촉진법. 법률 제 17163호(2020.3.31, 제정), 제2조(정의).
- [8] 국방첨단기술연구원. 2020년도 미래도전기술개발사업 설명회 발표자료 (2020): 7.
- [9] 소요기획연구실. 미래도전국방기술개발사업 소개자료 (2021): 7.
- [10] 강창목. "제품 개발 프로세스: 신제품 개발을 위한 시스템적 접근법." (2017).
- [11] 김치수. 쉽게 배우는 소프트웨어공학, 한빛아카데미, 2015. 인쇄도서.
- [12] Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger. *Product Design and Development*. 7th Edition. 2020.
- [13] Pine, B. Joseph. *Mass customization*. Vol. 17. Boston: Harvard business school press, 1993.
- [14] 김정윤, 한주희. "신제품 개발 프로세스에 대한 기획 역량이 신제품 개발성과에 미치는 영향." *한국산학기술학회 논문지* 10.9 (2009): 2440-2450.
- [15] 권현영. 미래도전기술 기획·사업관리 방안 연구 최종결과보고서. 국방과학연구소. 2019.
- [16] 방위사업청. 핵심기술 연구개발 업무처리지침. 방위사업청 예규 제657호(2020.7.9, 전부개정).
- [17] 방위사업청. 국방기술 연구개발 업무처리지침. 방위사업청 예규 제714호(2021.4.30, 전부개정).
- [18] 국방과학연구소. 미래도전국방기술개발사업 업무처리규정. 규정 제802호(2021.2.1. 제정).
- [19] 오세준, "최신 R&D 정책과 미래도전국방기술", *국방과학연구소 내부 발표자료*, 2021.
- [20] 버나드. "로 몽고메리 (1996), 전쟁의 역사 1." 서울: 책세상출판사: 689.

저 자 소 개



장신동(E-mail: jsdclub@naver.com)

현재 국방대학교 무기체계전공 박사과정

관심분야 : 기술혁신, 국방 R&D, 자율무기체계



마정목(E-mail: jxm1023@gmail.com)

2002 육군사관학교 운영분석과 졸업(학사)

2008 미 펜실베니아주립대 산업공학과 졸업(석사)

2015 미 일리노이대 산업공학과 졸업(박사)

2015-현재 국방대 국방과학학과 부교수

관심분야 : 국방 모델링, 데이터 애널리틱스

목표 피해율 달성을 위한 포탄 정확도 산출방안

Way to Calculate the Accuracy of Artillery Fire to Achieve the Required Damage Rate

박민성¹⁾, 김경수²⁾

Minsung Park, Kyungsoo Kim

ABSTRACT

Monte-Carlo simulations have been used as a tool for making decisions in unpredictable situations. Because of the indirect fire method of the artillery weapon system, people vaguely think that higher the accuracy of Artillery fire, the more damageable to the enemy. However, even if the projectile with specified accuracy is fired, the damage to the enemy may vary depending on the way how the target is placed. Therefore, this paper calculates the general accuracy of the artillery fire by using Monte-Carlo simulation to achieve a specific damage level considering position angle of longer side of target. In the specified accuracy of the artillery fire, the damage rate was varied according to the position angle of longer side of target. And to overcome this problem, the general accuracy of the artillery fire for the required damage was calculated.

Keywords : Artillery Shell Accuracy, Range Error Probable, Deflection Error Probable, Circular Error Probable, Damage rate

논문접수일 : 2021년 11월 15일, 심사일 : 2021년 11월 30일, 게재확정일 : 2021년 12월 20일

1) 국방대학교 국방과학학과 무기체계 전공 석사과정

2) 국방대학교 국방과학학과 무기체계 전공 조교수

1. 서론

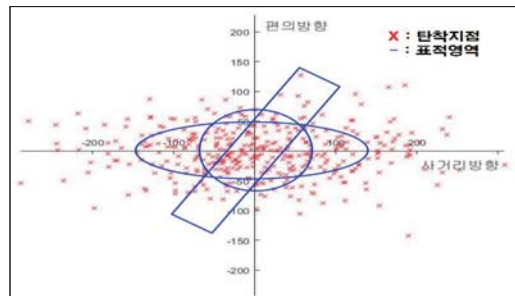
야전군에서 포병의 역할은 여전히 작전 수행에 큰 부분을 차지한다. 화력 운용 수단으로써 화포에서 발사되는 포탄은 항공기나 미사일과 비교하면 경제성, 조작성의 편이성, 전천후 운용 가능성 면에서 아직도 많은 장점이 있다.

포탄을 통한 공격은 눈에 보이는 표적을 직접 조준하여 공격하는 직사화기와는 달리 표적을 간접적으로 확인하고 탄의 비행 특성을 고려해 사격한다. 표적이 있는 지점에 다량의 사격을 할지라도 포탄의 탄착지점은 한 지점에 탄착하지 않고 타원형의 분포로 탄착지점이 형성된다. 그 이유는 포탄의 무게, 형상, 장약 온도 및 습도의 미세한 변화, 포신 온도차, 방열의 기계 오차, 포탄이 비파시 사격 때마다 포탄에 미치는 기상 제원의 오차 등으로 사격제원에 오차가 발생하기 때문이다.[1]

포탄 사격으로 표적에 큰 피해를 주려면 포탄의 폭발 효과를 언급하지 않더라도 포탄의 정확도(표적에 근접하여 탄착 되는 정도, 표적을 기준으로 탄착지점과의 거리오차)의 중요성을 예상할 수 있다. 당연히 사격 된 포탄의 탄착지점은 표적에 가까울수록 피해효과를 크게 할 수 있다.

포병탄의 정확도가 표적에 피해에 미치는 영향에 관한 연구는 국내에서 많이 이루어지지 않았다. 박진호(2015)는 건물 표적에 대한 무기체계의 파괴 효과를 분석하면서 정확도 기준의 하나인 원형공산오차(CEP)의 변화에 따른 건물의 파괴확률을 분석하였다.[2] 문호석(2020)은 위게임 모델에서 가상으로 운용되는 대항군포병이 선택할 탄종별 사격 발수와 정확도를 자동으로 결정하는 방안에 관한 연구를 하였다. 야전부대가 전투지휘훈련을 하면서 사용가능한 가상의 대항군 포병사격에 의한 아군 피해율을 산정하기 위해 탄착지점에서 표적까

지의 거리와 아군부대가 배치한 지역의 가로세로 비율 및 아군 훈련부대의 수준을 핵심 변수로 사용했다. 이렇게 해서 가상으로 운용되는 대항군 포병의 포병 공격 피해 수준을 조정하는 방안을 제시했다.[3] 기존 연구들은 주로 포병탄의 정확도가 단일건물 또는 원으로 표현되는 표적에 끼치는 효과의 정도를 나타내고, 정확도가 높을수록 더 큰 효과를 기대할 수 있다는 사실을 이용했다. 그러나 여러 개의 장비 또는 인원으로 이루어진 표적의 다양한 분포형태에 따라 표적에 끼치는 효과가 달라지는 것은 고려하지 않았다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 같은 사격제원으로 여러 발을 사격해도 특정한 탄착분포를 가지는 탄의 특성 때문에 적이 피해를 보는 정도(이하 피해율)은 사격선으로부터 시계방향으로 표적영역의 장축에 이르는 각(이하 사격선~장축 사이각) 또는 특정부대의 장비가 분포되어있는 형태에 따라 다르다.

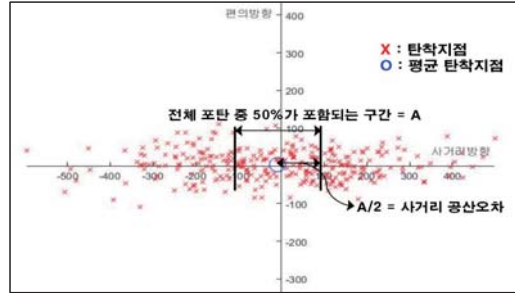


<그림 1> 탄착분포와 표적 분포에 따른 피해의 차이

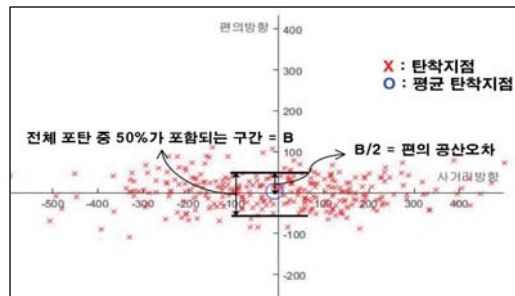
표적의 분포형태가 탄착지점의 분포형태와 다르므로 피해율이 달라진다. 표적 분포형태와 탄착분포의 형태가 서로 유사하고 중첩되어야 피해효과가 증대될 것으로 예측할 수 있다. 이처럼 표적의 분포형태가 변하면 피해율이 달라짐에도 불구하고 포탄 성능을 평가할 때 포탄의 평균 탄착지점과 표적까지의 거리 오차가 작을수록 피해효과가 크다고 오해하는 경우가

많다.

따라서 본 논문에서는 포탄의 정확도를 나타내는 개념인 REP, DEP, CEP³⁾가 표적의 피해율에 미치는 영향을 분석하고 특정 피해율 달성을 위해서는 어떤 수준의 정확도가 필요한지 알아본다. 2장에서 포탄의 정확도를 표현하는 개념과 의미를 확인한 후 3장에서 북한군 방사포 1개 중대 표적을 대상으로 표적 피해율 계산 모델을 수립하였다. 그리고 4장에서 정확도를 변수로 모든 사격선~장축 사잇각을 달리하면서 표적의 피해율을 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 통해 계산하고 5장에서 이를 통해 사격선~장축 사잇각과 무관하게 포탄의 정확도가 피해율에 미치는 영향과 특정 피해율 달성하기 위한 포탄의 정확도를 제시하였다.



<그림 2> 사거리 공산오차



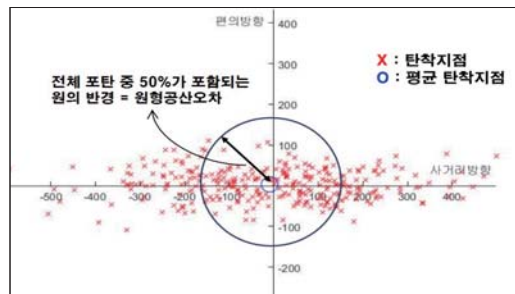
<그림 3> 편의 공산오차

2. 이론적 고찰

2.1 공산오차

포탄의 정확도는 사거리/편의 공산오차(이하 REP/DEP) 또는 원형공산오차(이하 CEP)로 표현할 수 있다. 같은 화포를 사용하면서 같은 사격제원으로 다량의 사격을 하면 포탄의 탄착지점 분포는 평균 탄착지점을 중심으로 사거리와 편의 방향으로 정규분포를 따르며 흩어져 나타난다고 가정한다. 이때 탄착지점은 <그림 2>처럼 사거리 방향 상으로 탄착중심점으로부터 앞뒤로 REP 거리 이내에 사격한 포탄의 50%가 탄착되며 <그림 3>처럼 편의 방향 상으로 탄착중심점으로부터 좌우로 DEP 거리 이내에 사격한 포탄의 50%가 탄착 된다.[4].

원의 형태로 포탄의 탄착분포를 표현할 수 있는데 <그림 4>에서 보는 것처럼 탄착지점은 평균 탄착지점을 중심으로 CEP를 반경으로 하는 원안에 사격하는 포탄의 50%가 탄착하게 된다.[4]



<그림 4> 원형 공산오차

3) REP(Range Probable Error, 사거리 공산오차), DEP(Deflection Probable Error, 편의 공산오차), CEP(Circular Error Probable Error, 원형 공산오차)

단일건물이나 단일 장비를 표적으로 피해율을 산정할 때 위에 제시한 공산오차를 사용하는 것은 기존의 연구에서 제시된 바와 같으며 정규분포를 이용해서 해석적인 접근이 가능하다. 그러나 표적이 다수의 인원이나 장비 등으로 이루어져 산개된 모습일 경우에 포탄의 폭발반경이 중첩되는 현상이 발생하므로 해석적으로 접근하기 어렵고 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 피해율 계산방법으로 접근했다.

3. 표적 피해율 계산방법

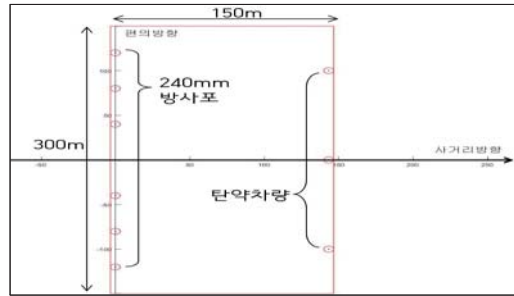
3.1 표적 형태

몬테카를로 시뮬레이션에 사용할 표적은 북한의 240mm 방사포 1개 중대에 편성된 장비를 대상으로 하였다. <그림 5>에서 보는 바와 같이 방사포 중대의 편성 장비는 240mm 방사포 6문과 탄약 차량 3대로 구성했고 항공사진을 기초로 시뮬레이션에 사용할 표적인 방사포는 일선형으로 배치하였다.[5]

<그림 6>처럼 방사포의 좌우 간격을 20~50m, 방사포와 탄약차 간 간격을 약 140m로 설정하여 사용하는 진지의 크기가 가로 300m, 세로 150m가 되는 곳에 장비의 피해를 최소화



<그림 5> 240mm 방사포 일선형 진지형태



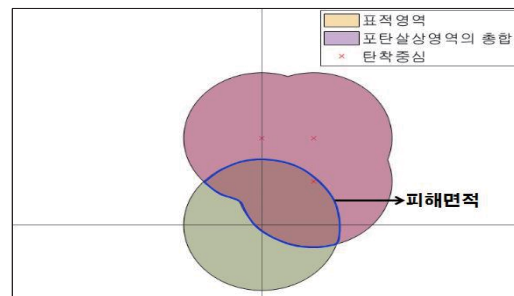
<그림 6> 표적 박스 및 배치형태

할 수 있도록 직사각형 영역 안에서 분산시켰다.[6] 사격선~장축 사잇각은 90°, 135°, 180°, 임의 각의 경우로 구분하였다.

240mm 방사포와 탄약차량의 크기는 모두 전장 10.5m, 전폭 3.3m의 직사각형 형태이나 피해면적 계산의 편이성을 고려하여 동일한 면적인 원의 형태(반지름이 3.3m)로 간주하였다.[7]

3.2 피해율 계산모형 개요

피해율(Pk)은 <그림 7>에서 보는 바와 같이 표적의 전체 면적을 기준으로 포탄에 의해 (직경 50m의 원형 살상구역) 표적에 피해를 준 면적⁴⁾의 비율로 설정하였으며 식(1)과 같다.[8]



<그림 7> 피해면적

4) 포탄의 살상영역과 원형의 표적 면적이 겹치는 영역이며 표적이 한번 피해입은 영역은 다른 포탄이 피해를 주지 않는 것으로 설정하였다.

$$P_k(\%) = \frac{\text{전체 피해 면적}(m^2)}{\text{표적 전체 면적}(m^2)} \quad (1)$$

몬테카를로 시뮬레이션에 사용할 표적은 방사포 6문과 탄약 차량 3대를 선정하고 포병대대 18문의 화포가 집중사향속⁵⁾으로 방사포 중대의 진지 중앙지점에 각각 1발을 사격하는 경우를 고려한다. 포병대대 18문의 화포가 사격하는 포탄의 낙탄 분포는 특정한 REP/DEP 또는 CEP를 가졌다고 가정했으며 포탄 각각 1발을 사격하여 총 18발이 낙탄되었을 때를 한 번의 사건으로 정의한다. 한 번의 사건이 발생할 때마다 식 (1)에 의해 각각의 사건에 대한 피해를 계산한다. 주어진 특정한 REP/DEP 또는 CEP 값을 변화시키지 않고 같은 조건에서 100번의 시뮬레이션(100번의 사건)과 피해를 평균값으로 특정 REP/DEP 또는 CEP 값에 상응하는 피해율로 산출한다.

4. 시뮬레이션

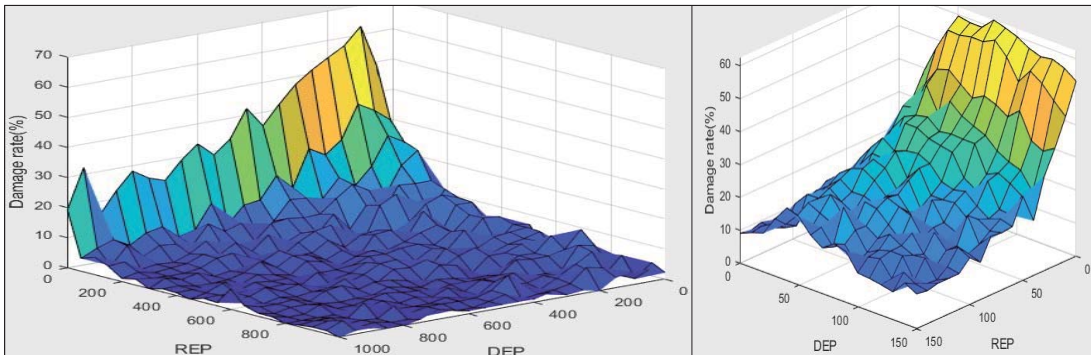
4.1 시뮬레이션 개요

주어진 포탄의 REP/DEP 또는 CEP로 인해 탄착분포의 변화가 생기고 <그림 7>에서 제시된 계산방법에 따라 피해율은 식 (2) 또는 (3) 처럼 표현할 수 있다.

$$P_k = f(REP, DEP) \quad (2)$$

$$P_k = f(CEP) \quad (3)$$

시뮬레이션은 식 (2), (3)에 제시한 핵심 변수인 REP, DEP, CEP를 변화시켜가며 진행했다. 공산오차를 사거리 방향과 편의 방향으로 표현하는 경우에 REP와 DEP를 각각 100m 단위로 변화시키며 식 (2)에 따라 피해를 변화율 측정하고, 공산오차를 원형으로 표현한 경우에 CEP를 100m씩 변화시키며 식(3)을 사용하여 피해를 계산했다. 표적은 사격선~장축 사잇각이 각각 90°, 135°, 180°인 경우로 구분하여 피해를 계산하고 사잇각을 특정할 수 없는 경우에 표적의 사격선~장축 사잇각이 90°~180°인 난수로 발생시켜 표적의 임의의 각에 대한 피해를 계산했다. 마지막으로 야전부대



<그림 8> 사격선~장축 사잇각이 90°인 경우 REP와 DEP 변화에 따른 피해율(좌) / DEP·REP 간격 10m 설정 후 DEP 증가 시 최대 피해를 이후 감소경향(우)

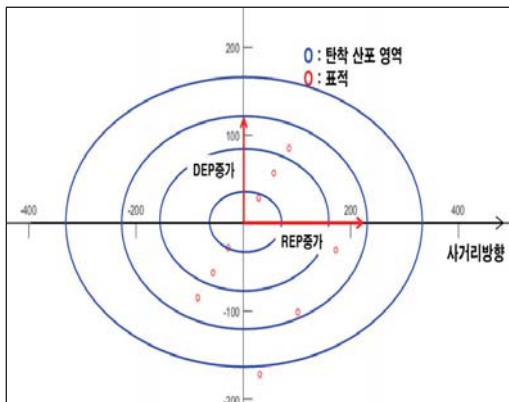
5) 집중사향속은 각 대포가 사격한 포탄이 한 지점에 낙탄되도록 하는 포탄의 과열형태이다.

에서 작전수행간 유의미한 피해율인 20% 이상의 피해율을 달성하는데 필요한 공산오차의 범위를 추가로 제시했다.

4.2 결과 분석

4.2.1 REP/DEP 변화에 따른 피해율

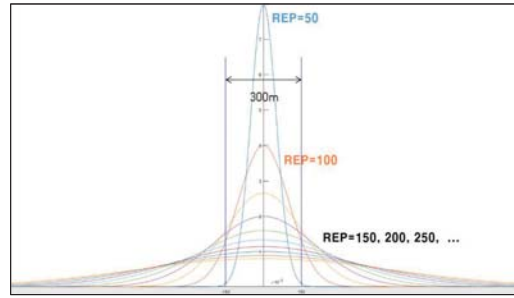
<그림 8>은 사격선~장축 사잇각이 180°일 때 피해율을 나타낸다. REP와 DEP를 각각 100m 단위로 변화시킴에 따라 발생하는 피해율은 그림에서 보는 바와 같이 DEP가 100m, REP가 0m일 때 최대 62%의 피해율을 보이다가 각 변수가 증가함에 따라 점차적인 감소추세를 보였다. 주목할 만한 것은 REP는 증가함에 따라 피해율은 지속해서 감소한다는 사실이다. 이는 DEP가 0m일 경우에 표적이 분포한 진지에 18문의 탄이 과도하게 중첩되어 충분히 분산된 표적을 타격하지 못하다가 DEP가 100m가 되면 포탄은 편 의 방향으로 점점 넓게 탄착 분포되어 표적이 분포한 편 의 방향인 300m 내의 표적에 탄착 되는 수가 최대로 많아졌기 때문이다. 계속해서 DEP를 늘렸을 때



<그림 11> 회전된 표적과 탄착 산포영역

이 일관되게 감소하는 추세는 표적의 배치형

낙탄된 탄의 분포가 표적의 편 의 방향 분포보다

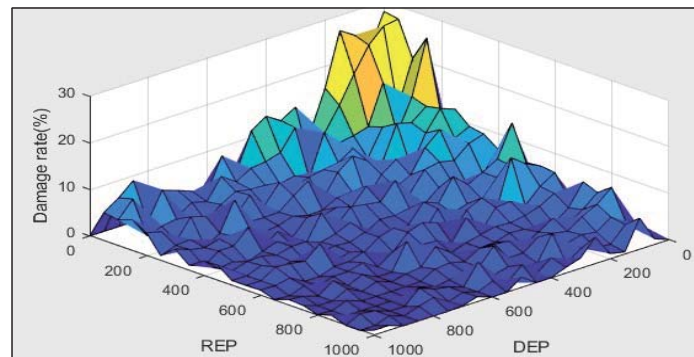


<그림 9> 편 의 오차의 확률밀도함수

과다해지면서 포탄에 의한 표적 피해효과는 점차 감소하는 경향을 보였다.

<그림 9>는 편 의 오차를 확률변수로 하는 확률밀도 함수 그래프를 나타낸다. 표적에 끼치는 피해는 포탄이 표적영역에 고르게 분포함과 동시에 최대한 많이 탄착해야한다. 이때 <그림 9>와 같이 DEP가 증가할수록 그래프의 형태는 평평해져 포탄이 편 의방향 300m 구간 내 고르게 분포하는 정도는 증가하고 탄착될 확률은 감소하는 반비례 관계를 보이기 때문에 DEP가 100m 까지는 피해율 62%로 증가하다 이후 감소한다.⁶⁾

<그림 8>에서 REP가 증가함에 따라 피해율



<그림 10> 사격선~장축 사잇각이 135°인 경우 REP와 DEP·REP 간격 10m 설정 후 DEP·REP 증가

6) Morris, R, Driels. Weaponeering : Conventional Weapon System Effectiveness second edition, AIAA, pp.140 식 (4.4)에 의하면 편 의오차~ $N(\mu, \sigma^2)$ 일 때 $DEP = \sigma \times 0.6745$ 이므로 DEP와 σ 비례관계이다.

때 때문이다. <그림 8>에서의 표적은 사격선~장축 사잇각이 90°로 표적이 사거리방향상으로 좁게 분포되고 편의 방향으로 넓게 분포된 형태이기 때문에 REP가 늘어날수록 표적 지역에 탄착 되는 포탄의 수는 줄어든다.

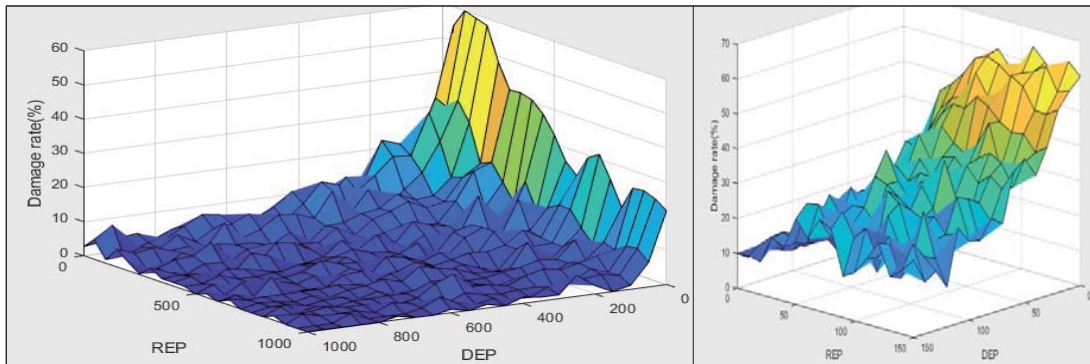
사거리 방향을 기준으로 사격선~장축 사잇각이 135° 일 때 피해율은 <그림 10>과 같다. REP와 DEP가 각각 50m일 때 최대 피해율 29.7%를 보이고 이후 REP와 DEP 값이 증가함에 따라 점차 피해율은 감소추세를 보인다.

REP와 DEP가 각각 50m일 때 피해율이 최대가 되고 이후 감소하는 이유는 사거리 방향을 기준으로 사격선~장축 사잇각이 90°일 때 비해 45°만큼 더 회전되어 <그림 11>과 같이

4.2.2 사격선~장축 사잇각과 무관한 피해율

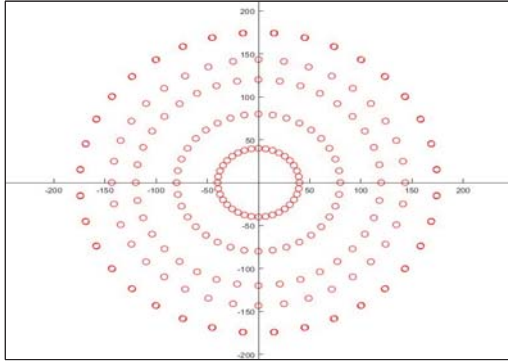
특정한 사격선~장축 사잇각인 경우에 대한 피해율 결과들을 통해 같은 정확도일지라도 표적이 어떠한 형태로 배치되어 있는가에 따라 피해율이 달라짐을 알 수 있다. 그래서 특정 피해율을 달성하기 위한 보편적인 포탄의 정확도를 제시하는 것은 사실상 불가능한 일이다.

그러나 전투 수행 간 적 방사포 중대의 사격선~장축 사잇각이 0°~360°의 범위에서 같은 확률로 일어나는 상황을 가정하면서 앞에서 진행한 시뮬레이션을 실행하면 요망 피해효과 달성을 위한 보편적 정확도를 제시할 수 있다.



<그림 12> 사격선~장축 사잇각이 180°인 경우 REP와 DEP 변화에 따른 피해율(좌) / DEP·REP 간격 10m 설정 후 REP 증가 시 최대피해율 이후 감소경향(우)
REP, DEP가 증가할수록 표적 위로 탄착하는 산포영역이 점진적으로 증가하다가 REP와 DEP가 각각 50m에서부터 줄어들기 때문이다.

사격선~장축 사잇각이 180°의 경우는 90°일 때와 반대로 REP가 100m, DEP가 0m 일 때 최대 60%의 피해율을 보이다가 이후에는 REP와 DEP 값의 증가에 따라 피해율이 감소하며 <그림 12>와 같다. 이는 사격선~장축 사잇각이 90° 최대 피해율을 보였던 것과 같은 논리로 표적이 사거리방향으로 300m 간격내에 길게 분포하기 때문이다.



<그림 13> 임의의 사격선~장축 사잇각에서의 표적의 분포

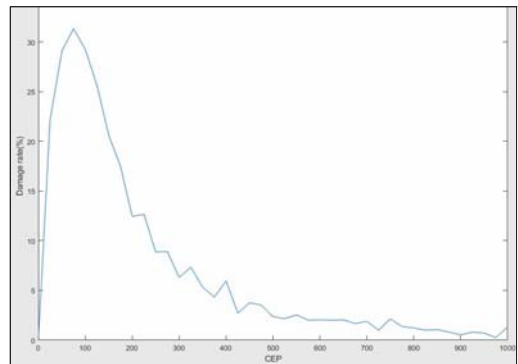
시뮬레이션의 편의를 위해 표적의 사격선~장축 사잇각이 0°~360°의 범위에서 균일하게 분포한다는 가정하에 <그림 13>과 같이 사잇각을 10°씩 증가시키며 표적을 분포시키면 임의의 사격선~장축 사잇각을 갖는 표적은 원형의 형태로 분포함을 가정할 수 있다. 따라서 포탄의 정확도를 원의 반경으로 표현하는 CEP를 기준으로 피해율을 시뮬레이션하였다.

임의의 사격선~장축 사잇각에서의 REP/DEP에 대한 피해율은 <그림 14>에서 보듯이 REP/DEP가 각각 50m일 때 최대 30%의 피해율을 보였으며 전술적으로 의미 있는 20% 이상의 피해율을 달성할 수 있는 범위는 REP와 DEP 모두 동일하게 25~150였다. 이는 임의의 사격선~장축 사잇각에서의 표적을 원형

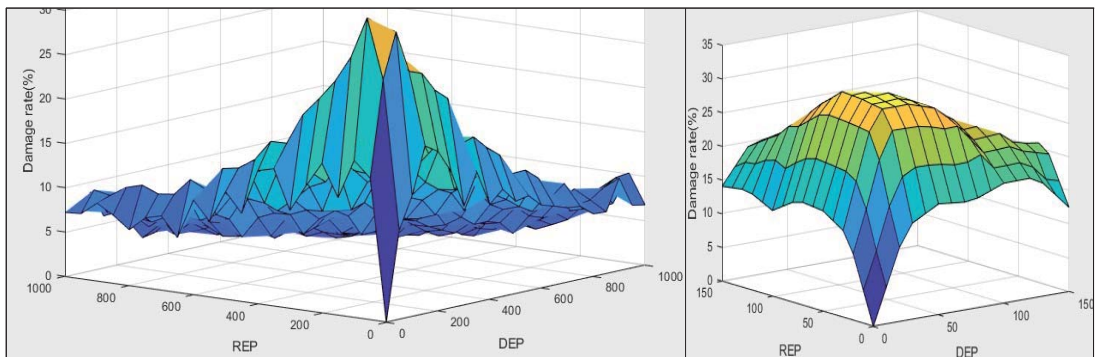
으로 고려할 경우 원형의 영역에 포탄이 고르게 탄착 되게 하려고 REP와 DEP가 같은 비율로 증가해야 하기 때문이다. 또한, REP와 DEP가 같을 때 한 변의 길이가 2×REP(또는 2×DEP)인 정사각형의 사탄 산포 영역이 원 형태의 표적 영역에 가장 잘 중첩되므로 최대 피해율을 기대할 수 있게 된다.

CEP 변화에 따라 임의의 사격선~장축 사잇각으로 배치된 표적에 대한 피해율은 <그림 15>와 같다.

임의의 사격선~장축 사잇각을 갖는 표적은 CEP가 75m일 때 최대 31%의 피해율을 보였으며 전술적으로 의미 있는 20% 이상의 피해율을 달성하기 위한 CEP 범위는 25~150m였다. CEP가 25m 이하일 때 매우 정확한 사격을



<그림 15> 임의의 사격선~장축사잇각의 경우 CEP 변화에 따른 표적의 피해율



<그림 14> 임의의 사격선~장축 사잇각의 경우 REP와 DEP 변화에 따른 피해율(좌) / DEP·REP 간격 10m 설정 후 각 변수 증가 시 최대피해율 이후 감소경향(우)

할 수 있고 표적 피해율도 높으리라 생각할 수 있지만, 시뮬레이션 결과는 오히려 과도하게 작은 CEP는 표적 피해율에 도움이 안 되는 것으로 관찰되었다. 오히려 CEP는 75m가 되었을 때 최대 피해율을 달성할 수 있었으며 75m를 초과하는 CEP는 점차 피해율을 감소시키는 결과를 가져왔다. 이는 표적의 분포를 원형으로 간주할 때 과도하게 작은 CEP는 중첩된 탄착 지점을 만들어 내어 넓게 분포한 모든 표적에 피해를 주는 것이 아니라 특정 표적만 집중적으로 피해를 줌에 따라 피해율이 적게 발생한 것으로, 최대 피해를 주기 위해 표적의 분포만큼 탄착분포도 형성되어야 함을 나타낸다.

도 탄착지점으로부터 멀어질수록 피해율은 감소할 수 있다. 향후 더 정확한 피해율 산정을 위해 포탄의 낙각 변화에 따른 피해영역과 표적과 탄착 중심으로부터의 거리에 따른 피해 정도를 추가로 고려한 연구가 필요하다.

5. 결론

본 논문에서는 다수의 장비로 이루어진 표적을 대상으로 포탄의 정확도 변화에 따른 피해율에 대해서 몬테카를로 시뮬레이션을 이용해 다루었다. 산출된 피해율 데이터를 통해 20% 이상의 전술적 의미가 있는 피해율을 달성을 위한 포탄의 정확도를 REP, DEP, CEP의 표현 방법으로 도출하였다. 특히 포탄의 정확도가 변하지 않음에도 불구하고 사격선에서 표적의 장축에 이르는 사잇각 변화에 따라 다른 피해율이 산출될 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 증명하였다. 사격선에서 표적의 장축에 이르는 사잇각이 임의로 선정될 수 있는 경우에 전술적으로 의미 있는 20% 이상의 피해율 달성에 필요한 포탄의 정확도를 제시하였다.

본 연구는 포탄의 피해영역을 직경 50m의 원으로 설정하여 이 영역에 포함된 표적들은 피해를 본 것으로 가정하였다. 하지만 포탄이 지면에 닿는 순간 이루는 낙각에 따라 포탄의 피해영역은 달라지며 피해 형태도 원형이 아닐 수 있다. 그리고 표적이 피해영역 안에 있더라도

참고 문헌

- [1] 육군본부, “야전교범 32-3 포병포술(사격지휘)”, 2010.
- [2] 박진호(Jinho Park), 최상영(Sangyeong Choi) , 김영호(Yeongho Kim). 무기체계 3차원 건물표적에 대한 간이 파괴효과분석 방법론 연구. 한국시물레이션학회 논문지, Vol.24, No.1, pp.89-96. 2015.
- [3] 문호석(Hoseok Moon), 김태성(Taesung Kim). 훈련용 구성 위게임 모델에서 대항군 포병의 사격발수와 정확도 결정 자동화 방안 연구. 군사과학연구지, Vol.14, No.1, pp65.-75. 2021
- [4] Morris, R, Driels. Weaponneering : Conventional Weapon System Effectiveness second edition, AIAA, pp.134-142. 2004.
- [5] REUTERS, “North Korea’s other threat“ (검색일: 2021.09.17.)
- [6] 정보본부, ”북한군 참고교범 1-2-2 야전포병포술“, pp.88-89, 2019
- [7] 나무위키, ”240mm 방사포“ (검색일: 2021.09.21.)
- [8] 육군본부, “야전교범 32-5 포병포술(전포)”, pp. 1-25, 2010

저자 소개



박민성 (E-mail: pms51317@gmail.com)

2015 육군사관학교 무기&시스템 공학과 졸업(이학사)
 현재 국방대학교 무기체계전공 석사과정
 관심분야 : 포탄 정확도 해석
 공산오차



김경수 (E-mail: kyongsookim@mnd.mil)

1995 육군사관학교 기계공학과 졸업(이학사)
 2004 Air Force Institute of Technology 졸업(항공공학 석사)
 2009 아이오와 주립대 졸업(기계공학 박사)
 현재 국방대학교 국방과학학과 조교수
 관심분야 : 포탄 정확도 해석
 공산오차

음성인식 기반의 상용서비스에 대한 사이버 위협 분석

Cyber Threat Analysis for Voice Recognition-based Commercial Services

홍천호¹⁾ · 조영호²⁾

Cheonho Hong · Youngho Cho

ABSTRACT

ASR(Automatic Speech Recognition) technology is greatly attracting attentions in the era of the 4th industrial revolution and will be widely adopted in various fields of defense and military area. Meanwhile, concerns about cyber threats on voice recognition-based (or speech recognition-based) commercial services without ASV(Automatic Speaker Verification) are also increasing. According to existing studies on security of ASR techniques, researches on devising and advancing ASR techniques are being actively conducted, but researches on attack models and scenarios against voice recognition services are not being conducted in a variety and depth. In this study, we propose a formal attack model with three steps against a common voice recognition-based commercial service, conduct experiments to show that the proposed attack model implemented by using a synthetic voice tool (Prosody) can partially control commercial services (or systems) such as AI speaker, air purifier and a silent vacuum cleaner connected to the AI speaker, and a commercial vehicle. We also discuss possible cyber threats based on the experimental results. Consequently, we inform the seriousness of such cyber threats on ASR-based commercial services when they do not have appropriate security countermeasures such as ASV.

Key Words: Automatic Speech Recognition, Automatic Speaker Verification, Speech Synthesis, AI Speaker, Cyber Threat Analysis

논문접수일 : 2021년 11월 11일, 심사일 : 2021년 11월 30일, 게재확정일 : 2021년 12월 20일

1)국방대학교 컴퓨터공학/사이버전협동과정 석사과정

2)국방대학교 컴퓨터공학/사이버전협동과정 주임교수 / 교신저자(Corresponding author)

1. 서론

국방부는 주변국들의 경쟁적 군비 증강과 북한의 지속적인 위협 그리고 격변하는 안보 환경 속에서 강한 군대를 만들기 위해 4차 산업혁명 시대의 최첨단 기술을 접목한 ‘스마트 국방혁신’을 추진하고 있다[1]. 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 인공지능(Artificial Intelligence: AI) 기반의 서비스가 다양한 분야에 접목되어 사용되고 있으며, 국방 분야에서는 차세대 전투기인 F-35에 음성인식(Automatic Speech Recognition: ASR) 기능을 탑재하여 사용되고 있다[2]. 또한, 고령화 속에서 노인복지 문제의 대안으로 음성인식 서비스가 제시되기도 했다[3].

과학기술정보통신부는 ‘2020 인터넷 이용 실태조사 결과’를 3월에 발표하였다[4]. 결과에서 우리나라의 인터넷 이용자는 약 4,600만 명으로 만 3세 이상 91.9%가 이용하고 있고, 이 중 28.5%는 AI 음성인식 서비스를 이용하고 있다. 이는 2019년 대비 3.3%가 증가한 수치였다. 사람에게 친숙한 정보전달 방식은 별도의 훈련 없이도 AI 음성인식 서비스와 소통할 수 있으며, 이동 및 업무 중에도 사용할 수 있다는 편리성으로 점차 사용자가 증가할 것으로 예상된다.

하지만 음성인식 서비스에 대한 보안 문제도 지속해서 지적되고 있다.

첫째는 음성인식 서비스 장치 자체의 보안 취약점에 대한 지적이다. 음성인식 서비스는 음성만으로 개인정보 및 음성인식 서비스와 연결된 사물을 제어할 수 있다. 이는 편리하게 다양한 서비스를 사용할 수 있다는 장점이 있으나, 음성데이터를 수집하는 기업으로부터 발생할 수 있는 개인정보 유출 및 프라이버시 침해가 발생한다. 2020년 10월 미국에서 통신망에 침투해 정보를 빼돌리는 소위 ‘백도어’ 보안 문제로 사용을 금지한 화웨이

칩이 사용된 AI 스피커가 군 내부에 설치 및 사용되고 있어 보안 문제로 지적되기도 하였다[5].

둘째는 음성인식(ASR) 기능을 악용하거나 자동화자 식별(Automatic Speaker Verification: ASV) 체계를 우회하는 공격의 위험성이다. 사람의 말소리를 흉내 내는 성대 모사나 기계로 말소리를 재연하는 음성합성 및 음성 변환을 통한 사이버 공격과 관련된 연구들이 있다[6, 7]. 사이버 공격의 형태는 네트워크를 이용한 공격뿐만 아니라 음성인식 서비스를 활용한 도청 및 음성데이터 수집도 사이버 위협 및 사이버 공격으로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 ASV와 같은 특별한 보안체계를 갖추지 않은 다양한 음성인식 기반 서비스에 대한 사이버 위협 분석을 통해 잠재적 위험성을 알리고 경각심을 제고하는 것을 목적으로 하며, 연구 측면에서는 다음과 같은 공헌도가 있겠다.

첫째, 일반적인 음성인식 서비스에 대한 3단계로 동작하는 사이버 공격 모델을 제안하고 사이버 위협을 확인하는 분석 도구로 활용한다[8, 9].

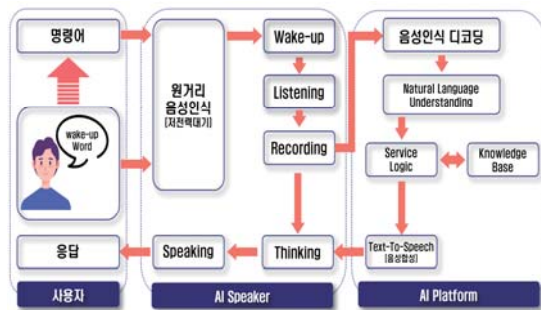
둘째, 음성 합성도구(Prosody)를 활용하여 음성인식 서비스와 AI 스피커가 연결된 가전 제품 공기청정기, 무선 청소기 그리고 음성인식 기능이 탑재된 자동차의 공조시스템과 편의장치를 작동시켜 일부 제어권을 확보할 수 있음을 보이고 이를 통해 발생 가능한 사이버 위협 시나리오를 제시한다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 배경지식 및 관련 연구를 살펴본다. 3장에서는 음성인식 서비스에 대한 공격 시나리오와 공격모델을 제안한다. 4장에서는 실험 결과를 제시하고, 5장에서는 향후 연구 방향과 함께 결론을 맺는다.

2. 배경지식 및 관련 연구

2.1 음성인식 기술

음성인식 기술을 이해하기 위해 AI 스피커의 음성인식 및 처리 절차를 설명한다. 음성인식은 사람과 음성인식 기기 간의 통신 과정이며, 주로 사람의 음성을 통한 정보전달 방식이다.



<그림 1> AI 스피커 구조 및 흐름도

<그림 1>은 AI 스피커의 구조 및 흐름을 나타낸 것이다. 화자가 발화하게 되면 먼저 AI 스피커가 반응한다. AI 스피커는 입력 및 출력을 담당하는 인터페이스로 사용자의 음성을 입력받게 되면 서버로 전달되기까지의 전처리 과정을 AI 스피커가 처리하게 된다.

즉, 사람의 음성 신호에서 정보를 추출하여 컴퓨터가 이해할 수 있는 문자 정보로 바꾸는 과정을 하게 되며, 아날로그 신호인 사람의 음성데이터를 전처리 과정을 통해 디지털 신호로 변환하게 된다. 이후 클라우드에서는 디코딩 과정부터 자연어 이해(Natural Language Understanding: NLU) 및 음성합성(Text to Speech: TTS)을 처리한다. 합성된 음성은 AI 스피커를 통해 출력된다[8].

2.2 관련 연구

음성인식 관련 사이버 위협에 관한 기존

연구들은 음성인식 장치 자체의 보안 취약성과 음성데이터를 수집하고 처리하는 과정에서 발생할 수 있는 개인정보 유출 및 프라이버시 침해 그리고 음성인식의 취약점을 예방할 수 있는 대응 기법에 관한 연구들로 대표적인 연구는 다음과 같다.

Nicholas Carlini 등[8]은 사람이 인식하지 못하는 음역의 명령어와 이해할 수 없는 음성으로 음성인식 서비스를 공격하는 모습을 보여주면서 공격기법을 설명했다. 하지만 ASV 기능이 없는 음성인식 서비스에 대한 제한적 실험이었다.

Takeshi Sugawara 등[9]은 AI 스피커에 탑재된 미세전자기계시스템(Micro-Electro Mechanical Systems: MEMS)이 레이저 빛에 반응하면서 음성명령을 인식하는 진동판이 똑같이 떨리게 되는 방식으로 레이저 빛에 암호화된 명령어를 인식하고 작동하는 공격기법이다.

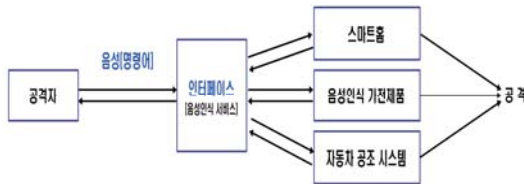
Ji-seop Lee 등[10]은 STRIDE(Spoofing, Tampering, Repudiation, Information Disclosure, Denial of Service, Elevation of Privilege: STRIDE)와 LINDDUN(Linkability, Identifiability, Information Disclosure, content Unawareness, policy and consent Non compliance: NINDDUN) 등 위협 모델링을 적용하여 AI 스피커의 보안성 평가를 진행하였다. 클라우드 기반 음성인식 시스템은 정보처리 간 노출되는 정보와 사용자와 서버 간의 송·수신되는 패킷을 중간에 공격자가 가로채는 방법으로 공격할 수 있음을 증명하였으며, 극복하는 방안으로 인증서 및 공개키를 적용한다는 한정된 대응 방법을 제시하였다.

Massimiliano Todisco 등[6]은 ASVspoofer 2019에서 스푸핑 위협으로부터 ASV 체계를 보호하기 위한 대응책을 마련하는 연구를 진행했으며, 스푸핑 시나리

오와 합성 및 변환 그리고 재생 음성이라는 세 가지 주요 스푸핑 공격에 관한 실험 결과 및 대응 방법을 제시했다.

3. 음성인식 서비스에 대한 공격 모델 제안

본 장에서는 음성인식 서비스 대상 공격 모델을 설명한다. 음성인식 서비스에 대한 보안 문제들은 지속해서 지적받고 있지만 개선되고 있지 않은 상황이다[11]. <그림 2>는 음성인식 서비스에 대한 공격모델을 설명한다. 제안하는 공격모델에는 3가지의 주요 구성 요소가 있다. 1) 공격자, 2) 음성(공격 방법) 3) 공격 대상의 인터페이스이다.



<그림 2> 음성인식 서비스에 대한 공격모델

지금부터 제안하는 모델의 작동 방법에 대하여 단계적으로 설명한다. 먼저 공격자는 공격 대상이 되는 음성인식 장치에 명령어 입력을 위해 접근할 수 있다고 가정한다.

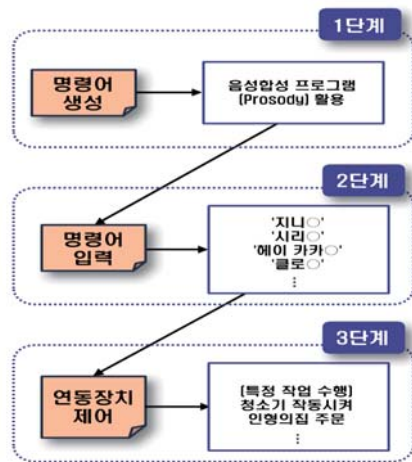
<그림 3>은 음성인식 서비스를 대상으로 하는 공격모델의 단계별 공격 절차를 구분한 것이다.

1단계에서 공격자는 음성인식 서비스를 공격하기 위해 명령어를 생성한다. 이때, 음성인식 서비스가 음성합성 프로그램을 이용하여 생성된 합성음성에도 작동하는 것을 입증하기 위해 음성합성 프로그램

Prosody[12]를 이용하여 명령어를 생성했다.

2단계는 공격자는 공격 대상의 음성인식 서비스에 접근하고, 생성된 명령어를 스마트폰 또는 노트북의 음악 재생플레이어를 이용하여 재생 공격한다.

3단계는 음성인식 서비스와 연결된 장치 또는 가전제품들을 제어하고, 기타 명령에 따라 특정 작업을 수행할 수 있다[13, 14].



<그림 3> 공격모델의 단계별 공격 절차

3.1 공격 시나리오

이번 절에서는 ASV 기능이 포함되지 않은 음성인식 서비스 대상 사이버 공격 수행 방법과 제안 모델이 어떻게 적용될 수 있는지 공격 시나리오를 통해 설명한다.



<그림 4> 음성인식 서비스 공격 시나리오

<그림 4>는 음성인식 서비스에 대한 음성합성 공격을 수행하는 공격 시나리오를 나타낸다. 공격자는 합성된 음성으로 음성인식 인터페이스인 AI 스피커에 명령어를 입력한다. 입력된 명령어를 통해 AI 스피커와 연결된 가전제품 또는 스마트홈(smart home) 시스템을 제어할 수 있다. 같은 방법으로 자동차에 탑재된 음성인식 서비스에 명령어 입력이 가능하고 명령어를 통해 자동차 공조시스템 또는 편의장치를 조작할 수 있다. ASV 기능이 포함되지 않은 음성인식 서비스는 사이버 공격을 방어할 수 없으며, 보안에 매우 취약하다.

마지막 명령어 입력단계에서 사용한 음성인식 서비스는 AI 스피커 GIGA Genie2를 사용하였으며, AI 스피커와 연결된 공기청정기와 무선 청소기를 특정 작업 수행 가능 여부를 입증하기 위해 사용하였다. 또한, 음성인식 기능을 탑재한 자동차 중 현대의 2020 그랜저를 대상으로 했다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험 목적과 방법

실험의 목적은 ASV 기능이 포함되지 않은 음성인식 서비스를 대상으로 한 사이버 공격 위협을 실험을 통해 보이는 것이다. 음성인식 서비스에 보안인증 기능이 없을 때 발생할 수 있는 위협을 통해 보안인증 강화할 필요가 있다고 판단된다면 제안 모델 및 실험의 목적은 달성됐다고 판단할 수 있다.

실험의 환경은 <그림 5>와 같이 3단계로 나눠서 구성하였다. 명령어 생성단계 및 입력 단계를 위해 Intel i7 10th. RAM 16GB, LG Gram 노트북을 활용하였으며, 명령어 생성을 위해 음성합성 프로그램 Prosody를 사용하였다.



<그림 5> 실험 수행 환경



<그림 6> 실험 세부 수행 절차

실험 단계별 수행 결과는 다음과 같으며 세부 수행 절차는 <그림 6>과 같이 설명할 수 있다.

- (1단계) **명령어 생성단계:** 공격자는 음성인식 서비스에 명령어 입력을 위해 음성합성 프로그램 Prosody를 이용하여 Wake-Up Word(예: 기가지니)와 음성인식 이후 특정 작업(예: 공기청정기 작동시켜줘, 무선 청소기 작동시켜줘)을 수행하기 위해 명령어를 추가로 생성한다.

- (2단계) **명령어 입력단계:** 음성인식 서비스에 명령어를 입력하기 위해 스마트폰 또는 노트북을 이용하여 명령어를 저장하고 음악 재생플레이어를 이용하여 명령어를 재생한다.

- (3단계) **음성인식 서비스 작동 단계:** 음성인식 서비스 작동 단계는 최초 음성인식 이후 ‘공기청정기 작동시켜줘’, ‘무선 청소기 작동시켜줘’와 같은 특정 작업을 위한 명령어를 추가로 입력하고, 작동 여부를 확인한다. 이후, 확

보한 제어권을 활용하여 공격자의 의도에 따라 해당 음성인식 서비스 또는 장치를 악의적으로 작동시켜 공격을 수행한다.

4.2 실험 결과 및 분석

실험 수행 결과, ASV 기능이 포함되지 않은 음성인식 서비스는 합성된 음성으로도 명령어 입력 및 연결된 장치들을 제어할 수 있었다.

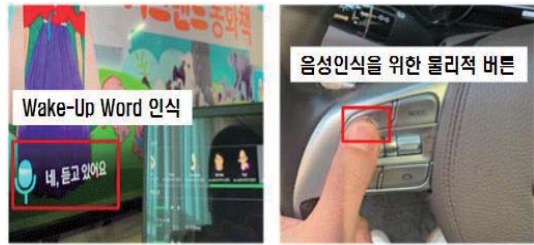
- **(1단계) 명령어 생성단계:** 공격자는 음성인식 서비스를 공격하기 위해 <그림 7>과 같이 음성합성프로그램 Prosody를 사용하여 성우 선택한다. 이후 텍스트를 입력해서 Wake-Up Word(예: 지니O) 및 추가로 특정 작업을 수행하기 위해 명령어를 생성한다. 무료로 생성할 수 있는 음성합성 프로그램은 공격자가 원하는 명령어를 쉽게 생성할 수 있다.



<그림 7> 실험 수행 결과: 정상 작동

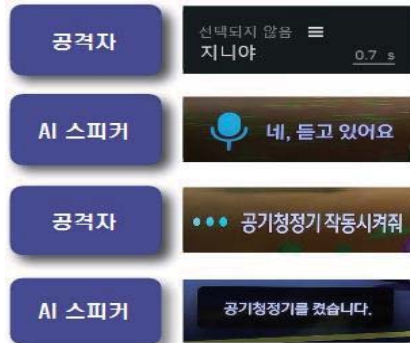
- **(2단계) 명령어 입력단계:** 공격자는 음성인식 서비스를 공격하기 위해 <그림 8>과 같이 생성된 명령어를 재생하여 공격한다. AI 스피커의 경우 Wake-Up Word에 정상적으로 반응을 하였으며, 자동차도 재생된 음성에 대해 정상적으로 반응하였으나, 물리적 버튼을 눌러야만 음성인식이 가능했다.

이는 ASV 기능이 없는 음성인식 서비스는 명령어 공격을 방어할 수 없고 보안에 취약하다는 것이다. 공격자가 음성인식 서비스에 접근만 할 수 있다면 공격 대상의 음성인식 서비스를 이용 다양한 공격이 가능한 것이다.



<그림 8> 음성인식 서비스 명령어 입력

- **(3단계) 음성인식 서비스 작동 단계:** 공격자는 특정 작업을 수행하기 위해 Wake-Up Word 입력 이후 추가적인 명령어를 <그림 9>와 같이 입력했으며, 정상적으로 AI 스피커와 연결된 가전제품들이 작동하였다.



<그림 9> 공격 수행 절차

이번 실험에서 AI 스피커와 연결된 가전제품은 공기청정기와 무선 청소기로 한정하여 진행했으나, <그림 10>과 같이 AI 스피커와 블루투스 또는 와이파이로 연결된 가전제품 또는 스마트 기기들도 제어할 수 있다.



<그림 10> AI 스피커와 연결된 가전제품

<그림 11>과 같이 자동차도 물리적 버튼을 누르고 추가 명령어를 입력했을 때 에어컨 및 공기 청정 모드를 작동할 수 있으며, 음성으로 차량을 창문을 내리거나 올리는 명령이 가능했다.



<그림 11> 음성명령으로 자동차 공조시스템 제어

4.3 예상 공격 시나리오 및 토의

제안 공격기법으로 확보한 음성 서비스에 대한 제어 권한으로 공격자가 수행 가능한 공격 시나리오와 위험 상황의 예는 다음과 같다.

- 상황 1: 공격자는 공격 대상에게 금전적 손해를 입힐 수 있다. 음성인식 서비스를 이용하여 물품 구매 또는 가전제품을 작동시켜 전력 소비를 유발한다.
- 상황 2: 공격자는 공격 대상에게 물질적 손해를 유도할 수 있다. 음성인식 서비스와 연결된 장치 중 난방시설 또는 전열기를 작동시켜 기기의 과부하를 유도하여 화재를 유발한다.

현재 AI 음성인식 기술은 지속해서 발전 중

이며, 적용 범위가 넓어지고 있다. 하지만 서비스에 대한 보안인증 및 개인정보 보호를 위한 노력이 필요하다.

실험 결과 합성된 음성으로 음성인식 서비스를 쉽게 정상 작동시킬 수 있다. 이를 통해 우리는 기존 연구를 접목한 공격 시나리오를 제시할 수 있다. 자동차의 경우 AI 스피커와 달리 물리적 버튼을 누르고 음성을 입력해야 하지만 기존 연구 [8, 9]와 같이 사용자가 인식하지 못하는 상황에서 사이버 공격을 수행한다면 <그림 13>과 같은 위협이 될 수 있다. 사람이 인지하지 못하는 음역의 명령어 공격과 레이저 빛을 이용한 공격은 공격자에게 있어 사용자가 공격을 인지하지 못하는 상황에서 공격할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 공격기법은 사용자가 운전 중 사고를 유발할 수 있는 공격모델을 구성할 수 있다.



<그림 11> 기존 연구를 적용한 공격 시나리오

국방 분야에서 현재 음성인식 기능을 사용하고 있는 차세대 전투기 F-35의 경우 전투기의 임무 수행 간 사람이 인지하지 못한 음역의 명령어 공격 또는 레이저를 이용한 공격을 할 수 있는 위의 공격 시나리오를 적용해 본다면 군의 임무 수행에 있어 위협으로 다가올 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 4차 산업혁명 시대에 주목 받고 있는 기술인 음성인식을 적용한 서비스를 AI 스피커와 자동차 그리고 이와 연결된 공기청정기, 무선 청소기 그리고 자동차 내 편의시설 및 공조시스템으로 한정하고 실험을 통해 공격 시나리오 및 모델을 제안했다.

또한, 기존 연구를 통해 공격 가능성이 입증된 공격기법을 적용한 공격 시나리오를 제시했다. 이는 향후 국방 분야에 다양하게 적용될 수 있는 음성인식 기술에 대해 보안 취약점을 사전에 인식하고 보안 강화를 위한 방법을 구상하기 위함이며, 보안 위협을 낮추기 위한 제안이다. 하지만 조금 더 다양한 공격기법과 이를 대응 하기 깊이 있는 연구가 필요하다.

향후 연구계획은 다음과 같다. 우선 본 연구에서는 ASV 기능이 포함되지 않은 음성인식 서비스를 대상으로 실험을 진행하였고, 사이버 공격 위협에 대해 언급하였다. 다음 연구에서는 음성인식 서비스의 보안 강화를 위해 ASV 기능을 포함한 음성인증 시스템이 아닌 AI 스피커 자체적으로 사용자와의 대화를 통해 사용자를 인지하고 확인할 방법을 연구할 계획이다. 이는 사용자 인증을 위해 생체인증을 이용하는 것에서 사용자의 대화 습관 및 패턴을 습득하고 누적된 데이터를 이용한 화자 인식 방법을 강구 할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 대한민국 국방부, *국방개혁 2.0*, 국방개혁실, 2019
- [2] Seongwoo Kim, Chulsu Shin, BongGyu Kim, "A Study on Fighter Airplane's Voice Command Recognition System Design and Verification Environment," The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, pp.327-331, 2012.11.
- [3] JungWon Kim, YouJin Song, YongjunSung, SejungMarina Choi, "AI Speaker for the Elderly : Functional and Emotional Evaluation of AI Speaker," Journal of Media Economics & Culture 18(4), pp.7-35, 2020.11.
- [4] Ministry of Science and ICT, 『2020 Internet Use Survey Results』, 2021.
- [5] TV CHOSUN 뉴스, "[단독] 軍 AI 스피커 4만여대에 美 금지한 화웨이칩...軍 "몰랐다" (검색일: 2021.11.09.)
- [6] Serife Kucur Ergünay, Elie Khoury, Alexandros Lazaridis and Sébastien Marcel, "On the vulnerability of speaker verification to realistic voice spoofing," IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems (BTAS), pp.1-6, 2015
- [7] Massimiliano Todisco, Xin Wang, Ville Vestman, Md Sahidullah, Hector Delgado, Andreas Nautsch, Junichi Yamagishi, Nicholas Evans, Tomi Kinnunen, and Kong Aik Lee, "ASVspooF 2019: Future Horizons in Spoofed and Fake Audio Detection," arXiv preprint arXiv:1904.05441v2, 2019.
- [8] Nicholas Carlini, Pratyush Mishra, Tavish Vaidya, Yuankai Zhang, MicahSherr, Clay Shields, David Wagner and Wenchao Zhou, "Hidden Voice Commands," 25th USENIX Security Symposium, 2016
- [9] Takeshi Sugawara, Benjamin Cyr, Sara Rampazzi, Daniel Genkin, and Kevin Fu, "Light Commands: Laser-Based Audio Injection Attacks on Voice-Controllable Systems," 29th USENIX Security Symposium, 2020
- [10] Ji-seop Lee, Soo-young Kang, Seung-joo Kim, "Study on the AI Speaker Security Evaluations and Countermeasure," Journal of the Korea Institute of Information Security & Cryptology, Vol.28, No.6, 2018
- [11] 이투데이, "[2021 국감] AI 스피커 가입자 1600만 명 넘었는데...보안인증 '0'건" (검색일: 2021.11.9.)
- [12] 음성합성 프로그램 Prosody 관련 링크, 인터넷 홈페이지 (검색일: 2021.11.9.)
- [13] 경향신문, "'음성 쇼핑' 생소하다고요? 미국선 일상이래요" (검색일: 2021.11.9.)
- [14] Song, Ji Sung · Kang, Song Hee, "A Study on the Service Usability of IoT Smart Devices," JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY DESIGN CULTURE 25(2), p.332,

저 자 소 개



홍천호(E-mail: hongcheonho@gmail.com)

2006년 침례신학대학교 졸업(학사)

현재 국방대학교 컴퓨터공학/사이버전협동
석사과정

관심분야 : 네트워크 보안, 디지털 포렌식 등



조영호(E-mail: youngho@kndu.ac.kr)

1998년 공군사관학교 졸업(학사)

2006년 연세대학교 졸업 (석사)

2013년 미국 University of Maryland, College
Park 졸업 (박사)

현재 국방대학교 컴퓨터공학/사이버전협동전공
주임교수

관심분야 : 네트워크 보안, 스테가노그래피,
신뢰메커니즘, 블록체인, 디지털
포렌식, 적대적 AI 등

한 글 제 목(굴림 16)

영 문 제 목(신명조 12)

이센터¹⁾ · 김센터²⁾(굴림 11)

Cen-Ter Lee · Cen-Ter Kim (신명조 11)

ABSTRACT(견명조 10)

abstract abstract abstract abstract abstract abstract(신명조 10)

Keywords : Keywords, Keywords, Keywords, Keywords, Keywords, Keywords, Keywords,
Keywords,

1) 00대학교 0000전공 석사과정(바탕 9)
2) 00대학교 0000전공 교수

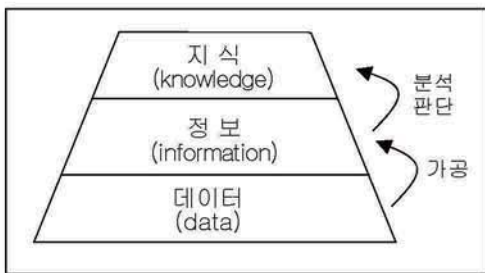
1. 서 론(HY중고딕 14)

현대사회에서 국방기술은 ~~~~~
 ~~~~~ 연구방안 수립과 추진이 필요하다.  
 국내외의 ~~~~~필요성의 증대로  
 귀결된다.  
 이처럼 ~~~~~  
 ~~~~~ 하고 있다.  
 또한 과학기술의 ~~~~~
 ~ Scientometrics'라 한다.[8] ~~~~~
 ~연구를 의미한다.(신명조 10)

2. 000 고찰

2.1 0000000(휴먼고딕 13)

과학기술 연구활동의 ~~~~~
 ~~ 정보이다.
 이런 ~~~~~
 ~~~~~부분이다.[7]  
 그러므로, ~~~~~필요  
 하다. <그림 1>은 ~~~~~  
 보여준다.



<그림 1> 데이터, 정보, 지식의 계층 구조

데이터는 ~~~~~  
 ~~~~~올라가게 된다.[6]

2.2 0000

최근의 ~~~~~
 ~~~~과정이라 할 수 있다.

최근 ~~~~~  
 ~~~~개괄적인 비교는 <표 1>과 같다.

<표 1> 000000 비교

| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

3. 00000

현재 ~~~~~
 ~~~~~ 있다.

### 4. 000 방법

연구동향을 ~~~~~  
 ~~~~~같다.

4.1 00000

1차 ~~~~~
 ~~~~~있다.

#### 4.2 00000

1차 ~~~~~  
 ~~~~~수집하였다.

5. 00결과

5.1 0000000

자율주행 ~~~~~
 ~~~~사용하였다.

#### 5.2 00000

지형/물체 ~~~~~  
 ~~~~입력하였다.

5.3 00000

상위 ~~~~각주3)~
~~~ 있다.

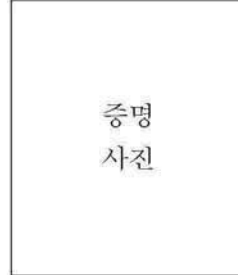
6. 결 론

지금까지 ~~~~  
~~~기대된다.  
그러나 ~~~~
~~~필요하다.

참 고 문 헌(휴먼고딕 16)

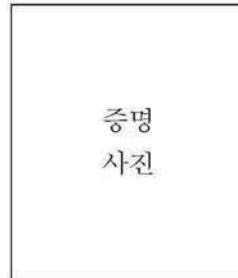
- [1] 국방기술품질원, 『2007 국방과학기술조사서(일반본) 제4권』, 국방기술품질원, 2012
- [2] 이주장·김현진·이민철·강정원·권인소·송재복, 차울주행기술”, 기계저널 제47권, 2007
- [3] 박용태, 『기술과 경영』, 생능출판사, 2005
- [4] 임치환, Knowledge Map의 활용에 관한 연구”, 한국외국어 대학교 석사학위논문, 2006
- [5] 윤문섭·이우형·김윤명·오해영·손성혁, 친기술 연구기획 사전 타당성 분석을 위한 지식맵 작성 방법론 개발 및 활용방안”, STEPI, 2003

저 자 소 개(HY신명조 13)



000(E - mail: 0000000@naver.com)

2000 0000000 졸업(문학사)  
현재 00대학교 0000전공 석사과정  
관심분야 : 데이터마이닝, OR/SA,



000(E - mail: 0000000000@000000)

1991 00000학교 졸업(이학사)  
1997 미국 UC. Berkeley 졸업(0000 석사)  
2005 KDI 00대학원 졸업(000000 석사)  
2006 00대학교 졸업 (0000 박사)  
관심분야 :

3) 각주내용.



| 발행인 |

정해일(국방대학교 총장)

| 편집인 |

강동수(국가안보문제연구소 군사과학센터장)

---

## 군사과학연구

제14권 제2호

---

2021년 12월 31일 인쇄

2021년 12월 31일 발행

발행처 : 국방대학교 국가안전보장문제연구소

TEL. (041) 831-6414

E-mail. rinsakj@kndu.ac.kr / kndu212@kndu.ac.kr

인 쇄 : 청 맥 기 획 (042) 487-2589

---

ISSN 1975-3888



## Research Papers

A Study on Trade Models Under Imbalanced Resources Using Linear and Integer Programming  
/ **Donggil Kang · Nakyeong Sung · Yunhwan Cho · Eunjin Choi · Namsuk Cho**

A Study on the Development Direction of Future Challenge Defense Technology R&D Project  
- Focusing on the Application of the Product Design and Development Process -  
/ **Sindong Jang · Jungmok Ma**

Way to Calculate the Accuracy of Artillery Fire to Achieve the Required Damage Rate  
/ **Minsung Park, Kyungsoo Kim**

Cyber Threat Analysis for Voice Recognition-based Commercial Services  
/ **Cheonho Hong · Youngho Cho**

